

**Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach**

**Prírodovedecká fakulta**

**Ústav geografie**



# **Diaľkový prieskum Zeme Laserové skenovanie**

Mgr. Michal Gallay, PhD.

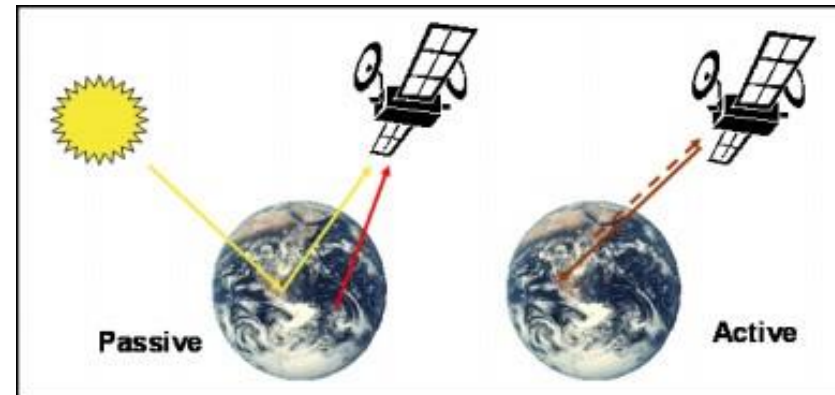
[michal.gallay@upjs.sk](mailto:michal.gallay@upjs.sk)

# Pasívne a aktívne systémy DPZ

**Pasívne** systémy DPZ zaznamenávajú **prirodzené** EMG žiarenie *odrazené* (napr. modré, zelené, červené, infračervené žiarenie) alebo *vyžiarené* (napr. termálne EMG) z povrchu Zeme

**Aktívne** systémy DPZ produkujú **vlastné** EMG žiarenie, ktoré 1) je vysielané zo senzora smerom k Zemi, 2) interaguje s objektami na zemskom povrchu odrážajúc energiu 3) zaznamenávanú prijímačom na senzore.

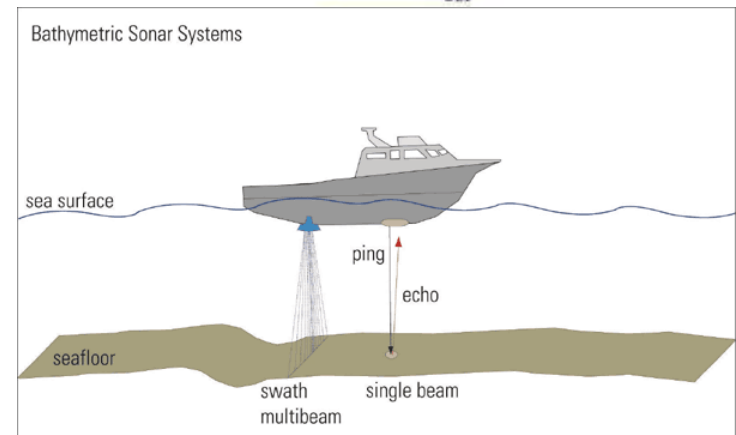
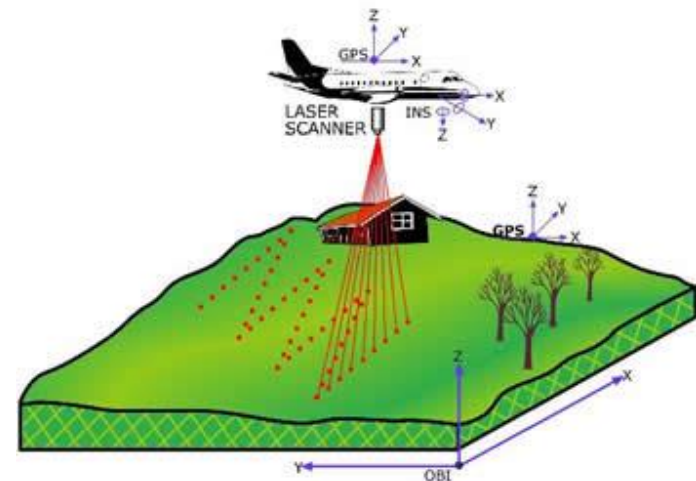
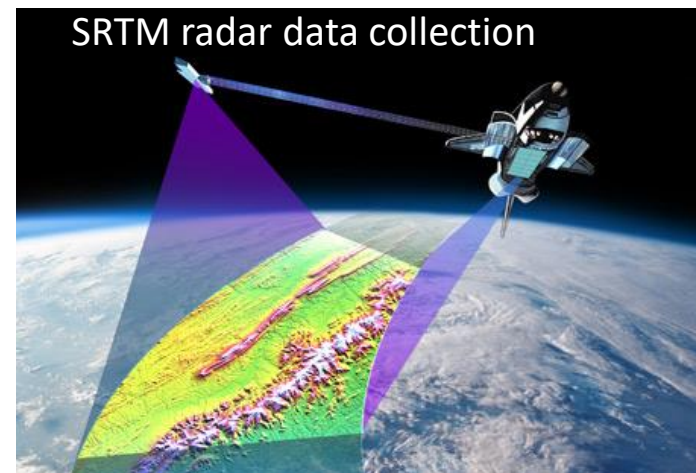
Aktívne systémy sú z hľadiska zdroja energie nezávislé na slnečnom EMG žiarení ani na tepelných vlastnostiach Zeme ani na časti dňa či noci.



# Aktívne systémy diaľkového prieskumu

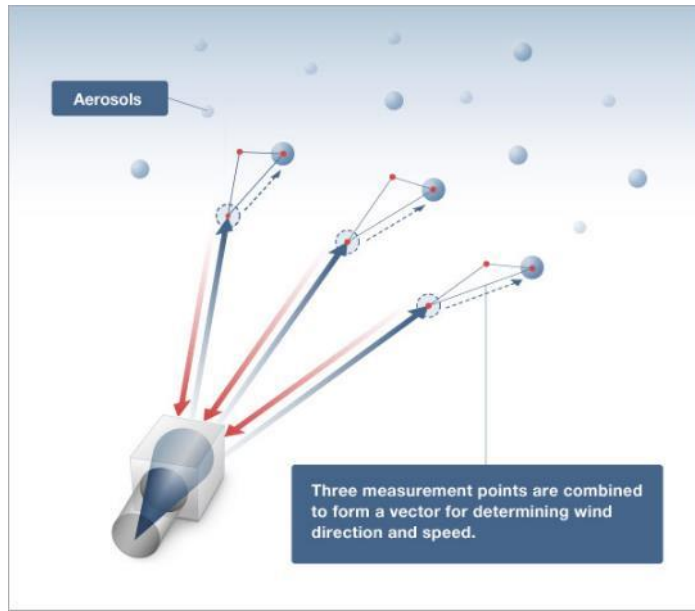
Najrozšírenejšie:

- **RADAR** - využíva **dlhovlnné mikrovlnné žiarenie** (3 – 25 cm) a zaznamenáva intenzitu odrazenej časti žiarenia od zemského povrchu;
- **LIDAR**, využíva **krátkovlnné žiarenie svetla** (500 - 1500 nm) s vysokou koherenciou (rovnobežný zväzok lúčov) typu LASER zaznamenáva intenzitu odrazenej časti žiarenia od zemského povrchu;
- **SONAR**, využíva **zvukové vlny vysielané vo vodnom prostredí** a zaznamenáva intenzitu odrazenej energie od dna alebo objektov vo vodnom stĺpci.

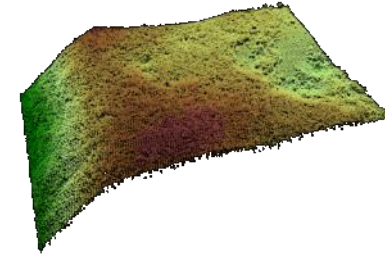


# Technológia LiDAR

- najmodernejšia metóda diaľkového prieskumu Zeme (DPZ)
- veľmi aktívna oblasť výskumu a vývoja
- Umožňuje získavať 3 typy informácie:
  - **Vzdialenosť k objektom** (topografický lidar, laserová altimetria)
  - **Chemické vlastnosti objektu** (diferenciálny absorpčný lidar)
  - **Rýchlosť objektu** (dopplerovský lidar)



časť planiny Dolný vrch



GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 25, NO.10, PAGES 1653-1656, MAY 15, 1998

## Aerosol backscattering determined from chemical and physical properties and lidar observations over the east coast of Canada

Shao-Meng Li, Kevin B. Strawbridge, W. Richard Leitch, Anne Marie Macdonald  
Atmospheric Environment Service, 4905 Dufferin Street, Downsview, Ontario M3H 5T4, Canada

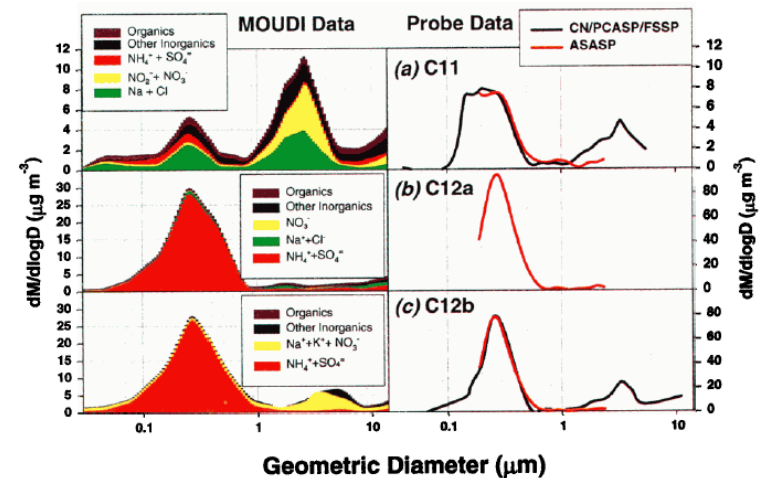
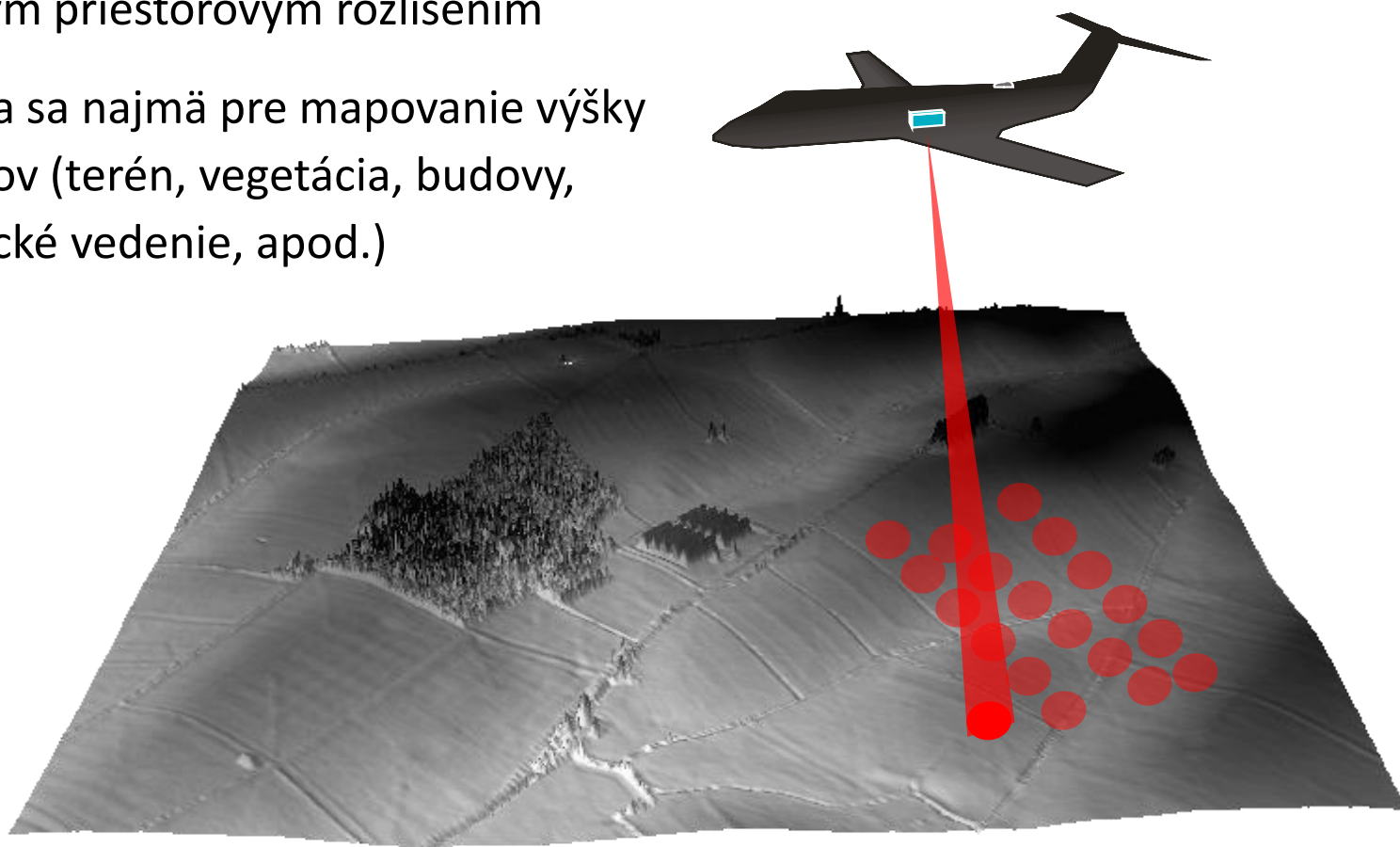


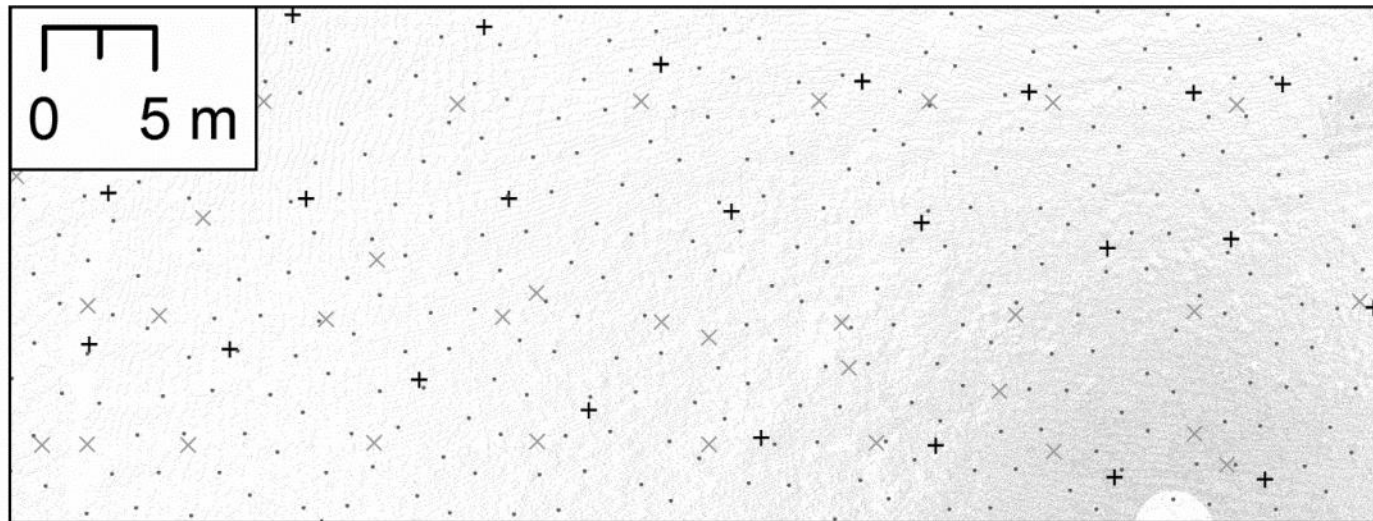
Figure 3. Size distribution of aerosols for C11, C12a, and C12b. The inverted results from MOUDI are shown on the left for the individual chemical components, and the probe data are shown on the right.

# Topografický LiDAR, laserová altimetria

- Veľmi efektívna technológia pre zber polohovo lokalizovaných informácií s vysokou presnosťou a vysokým priestorovým rozlíšením
- Využíva sa najmä pre mapovanie výšky objektov (terén, vegetácia, budovy, elektrické vedenie, apod.)



# Hustota merania



- + Body zamerané totálnou stanicou
- × Body zamerané diferenciálnym GPS
- Body z leteckého laserového skenovania
- Body z pozemného laserového skenovania

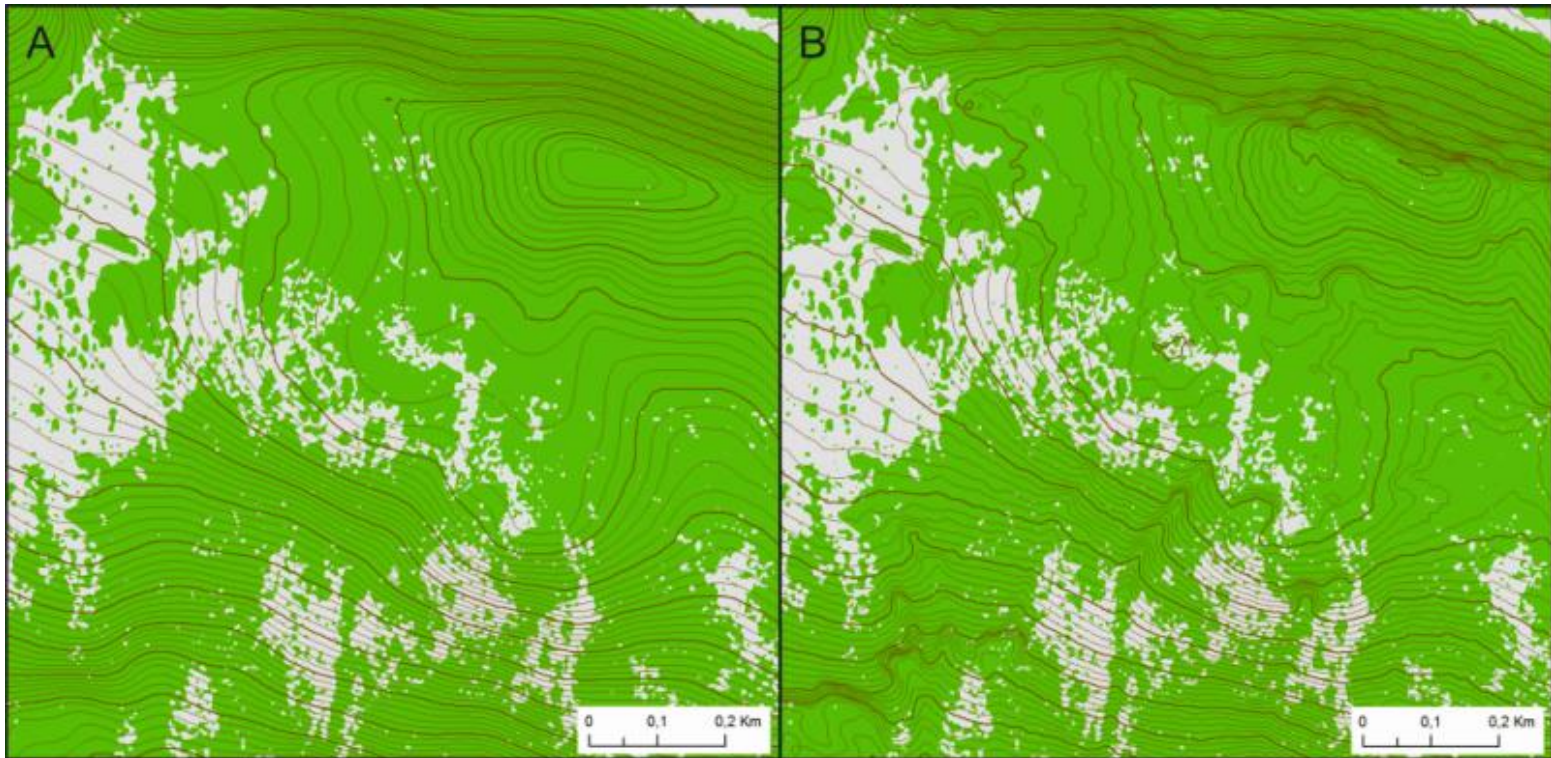


Fig.1. Demonstration of capabilities for terrain mapping with aerial photogrammetry (A) and airborne laser scanning (B) under the forest canopy (green colour) within a portion of the Slovak Karst. Contour interval 2 m.

# Historický vývoj využívania LiDARu pre topografické mapovanie

- 1960-1980: prvé laserové zariadenia pre diaľkový prieskum (lunárne altimetre, satelitné altimetre, oceánografický a atmosférický výskum) ,
- 1980-1990: prvé letecké altimetrické systémy,
- 1995: vyvinutý prvý komerčný lidar,
- 1995-2000: nástup komerčného a nekomerčné využitia laserových systémov
  - SHOALS (pobrežný prieskum, US Army Corps of Engineers)
  - 1996 Mars Orbiter Laser Altimeter (NASA MOLA-2)
  - 1997 Shuttle Laser Altimeter (NASA SLA)
- Od 2000 doposiaľ: rozmach komerčné ho využívania, pozemné laserové skenovanie
  - Tvorba celonárodných databáz topografických lidarových dát
  - Severné Karolína, USA, pre aktualizáciu povodňového rizika
  - Holandsko, Nemecko, UK, USA, Fínsko, ...
  - 2010 Česko
  - 2014 Poľsko
  - Slovensko ?, iba ojedinelé komerčné/výskumné projekty
    - Vrátane aktivít Ústavu geografie
- Od 2010:
  - štandardizácia údajových formátov (LAS, LAZ, Pulse Waves)
  - štandardizácia metód pre extrakciu (dolovanie) užitočných informácií
  - využívanie „full-waveform“ lidarů (schopný zaznamenať, množstvo odrazov pulzu)



# Porovnanie LiDARu a RADARu

## Lidar

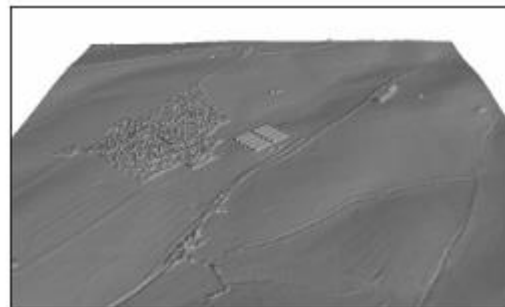
- Používa optickú časť EMŽ, okolo 1000 nm, batymetrický 500-550 nm.
- Kratšie vlnové dĺžky potom umožňujú detekciu malých objektov (čiastočky aerosólov, prachu).
- Úzky lúč a vysoká frekvencia dovoľujú mapovanie s vysokým rozlíšením a presnosťou.
- Lidar ma nadirový pohľad na objekty (vertikálny uhol snímania).
- Limitovaný čistotou atmosféry (oblačnosť, prach, hmla).
- Nezávislý na slnečnom svetle/časti dňa.



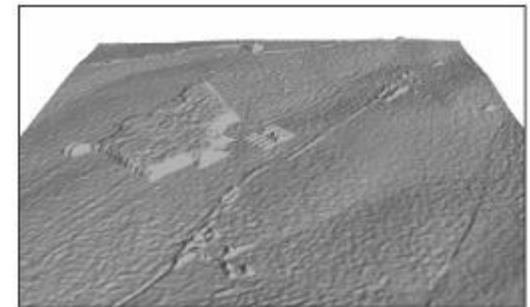
Orthophotograph draped over the LiDAR DSM

## Radar

- Používa mikrovlnnú časť spektra, okolo 1 mm – 1 cm, čo je 100000 krát dlhšia vlnová dĺžka ako pri infračervenom svetle
- Preto je veľkosť detekovateľného objektu je väčšia, teda menšie priestorové rozlíšenie
- Pri klasickom radare je priestorové rozlíšenie obmedzené dĺžkou antény, rádovo 10 m, pre SAR (Synthetic Aperture Radar, SAR) sa tento problém redukuje, avšak i tak je na úrovni niekoľkých decimetrov až metrov.
- Bočný pohľad na objekty (šikmý uhol snímania).
- Pre väčšie vlnové dĺžky je nezávislý na oblačnosti.
- Nezávislý na slnečnom svetle/časti dňa.



LiDAR DSM



InSAR DSM

# Princípy fungovania topografického LiDARu

## Pulzný lidarový systém

- Vyslaný signál pozostáva zo súboru pulzov laserového žiarenia s vysokou frekvenciou, 10000 až 550,000 pulzov/s (10 - 550 kHz pulse rate).
- Vzdialenosť R k objektu je vypočítaná na základe času, kt. uplynie od vyslania pulzu energie po prijatie jej odrazenej časti:

$$R = c \cdot \frac{t}{2} \quad \Delta R = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

- **Častejšie používaný v laserových skeneroch pre topografické mapovanie.**

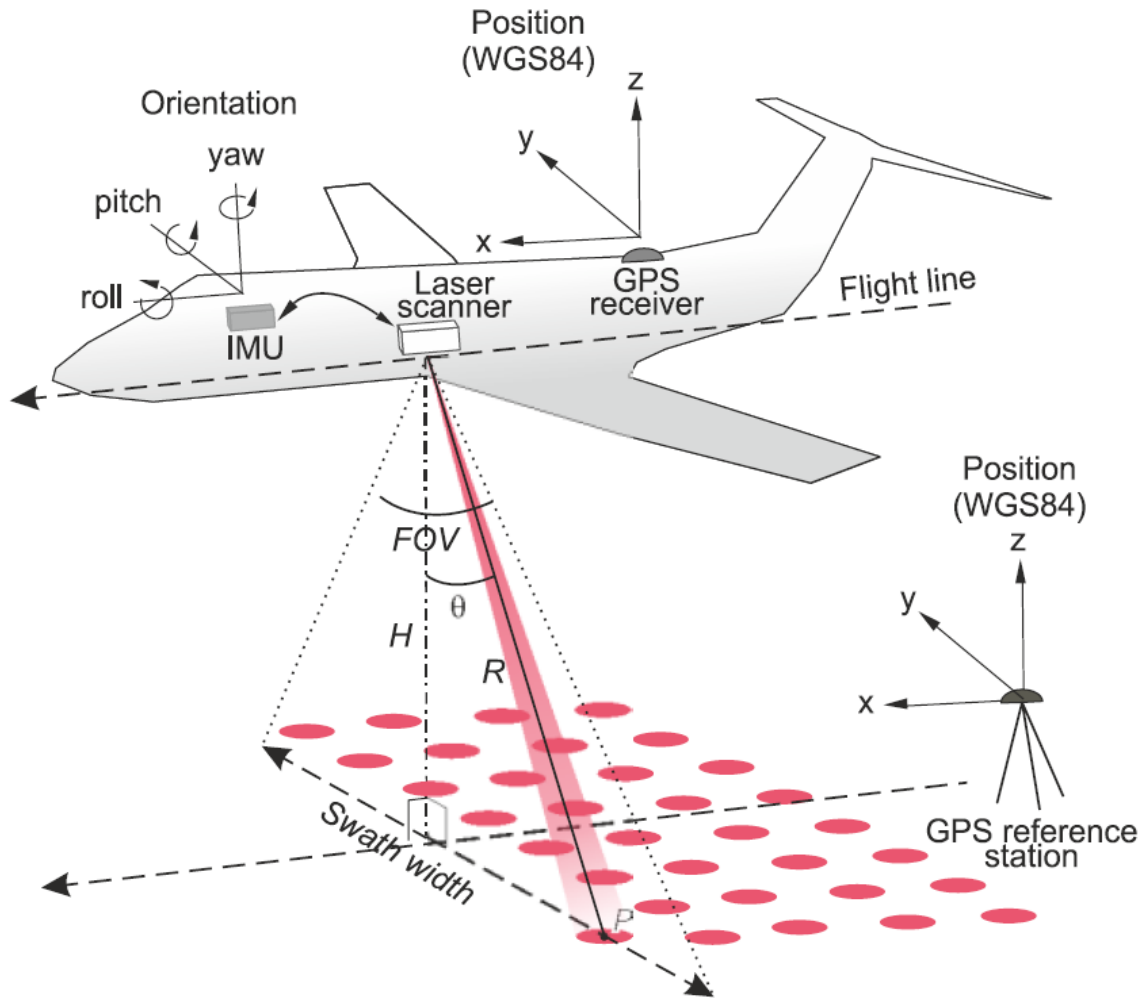
## CW systém

- Súvisle vysiela sinusoidálny signál so známou vlnovou dĺžkou (continuous wave).
- Vzdialenosť R sa vypočíta na základe počtu celých cyklov vlnenia a zvyšku ako fázového rozdielu medzi vyslaným a prijatým signálom:

$$R = \frac{c \cdot \phi}{4\pi \cdot f} \quad \Delta R = \frac{c \cdot \Delta \phi}{4\pi \cdot f}$$

- Častejšie používaný pri meraní na kratšie vzdialenosti (ručné laserové diaľkomery, totálne stanice, merania v strojárstve), menej v leteckých a pozemných skeneroch.

# Geometria snímania



## Pulzný laser

$$R = c \cdot \frac{t}{2} \quad \Delta R = c \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

## CW laser

$$R = \frac{c \cdot \phi}{4\pi \cdot f} \quad \Delta R = \frac{c \cdot \Delta \phi}{4\pi \cdot f}$$

$\Delta R$  - rozlíšenie v smere lúča

$t$  - čas od vyslania po prijatie pulzu

$\Delta t$  - dĺžka pulzu

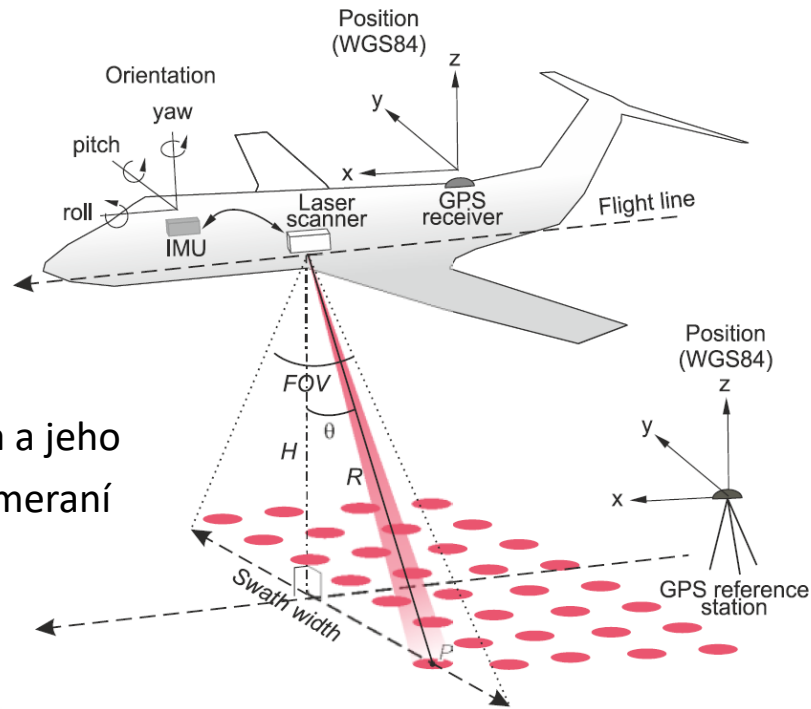
$c$  - rýchlosť svetla  
- fáza

$\phi$  - fázový rozdiel

$\Delta f$  - frekvencia

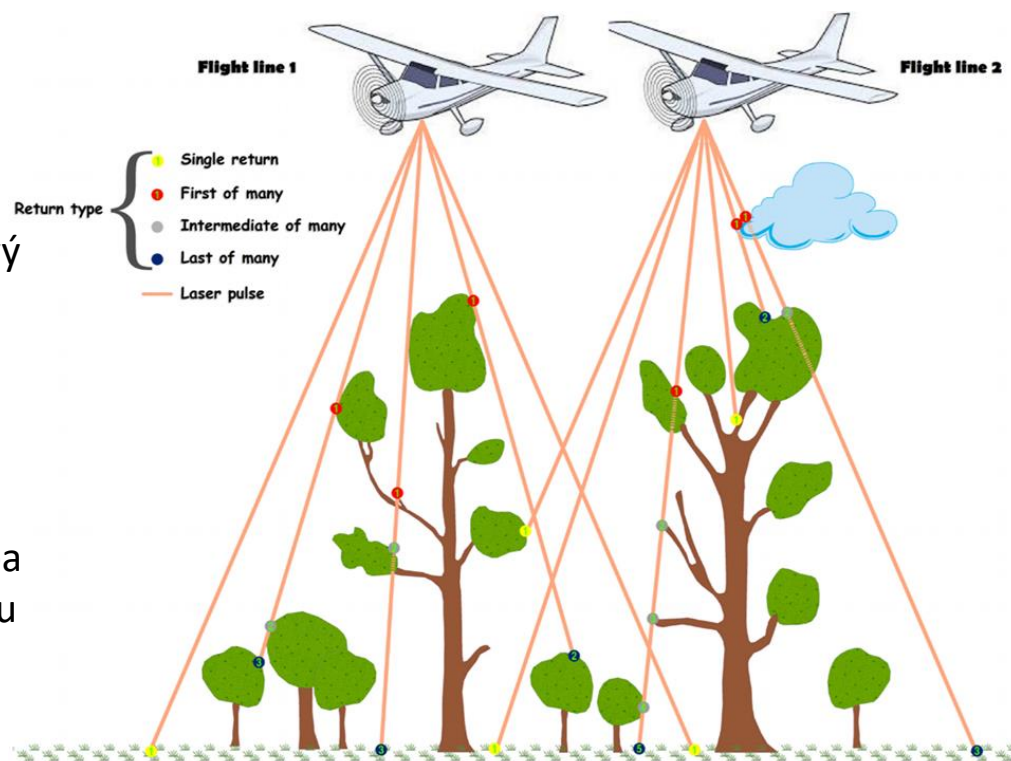
# Pulzný lidarový systém

- **Pulzný lidarový systém**
- Častejšie používaný v laserových skeneroch pre topografické mapovanie.
- Vďaka kombinácii pohyblivého skenovacieho zrkadla a jeho nosiča, ktorý je v pohybe, vzniká 2D pole bodových meraní vzdialenosti
- Okrem **vzdialenosti** sa zaznamenáva:
  - **Skenovací uhol** (od nadiru)
  - Inerciálna poloha skenera vzhľadom na lietadlo pomocou IMU (roll, pitch, yaw, frekvencia cca 50 Hz), teda **vnútorná orientácia**
  - Pozícia skenera v geodetickom súradnicovom systéme pomocou GNSS (frekvencia cca 1 Hz), teda **vonkajšia orientácia**
- **Na palube lidarový systém priamo spracúva**
  - šikmé vzdialenosti ku objektom a uhol, pod ktorým boli merané
  - Prepočítava šikmé vzdialenosti vzhľadom na merania IMU
  - Tieto merania integruje s GNSS údajmi o polohe lietadla, čím vzniká súradnicovo priradené mračno bodov, ktoré predstavujú miesta odrazu každého pulzu
  - Presnosť určenie polohy bodov závisí najmä od presnosti GNSS, kt. je najnižšia. Laserový skener určuje



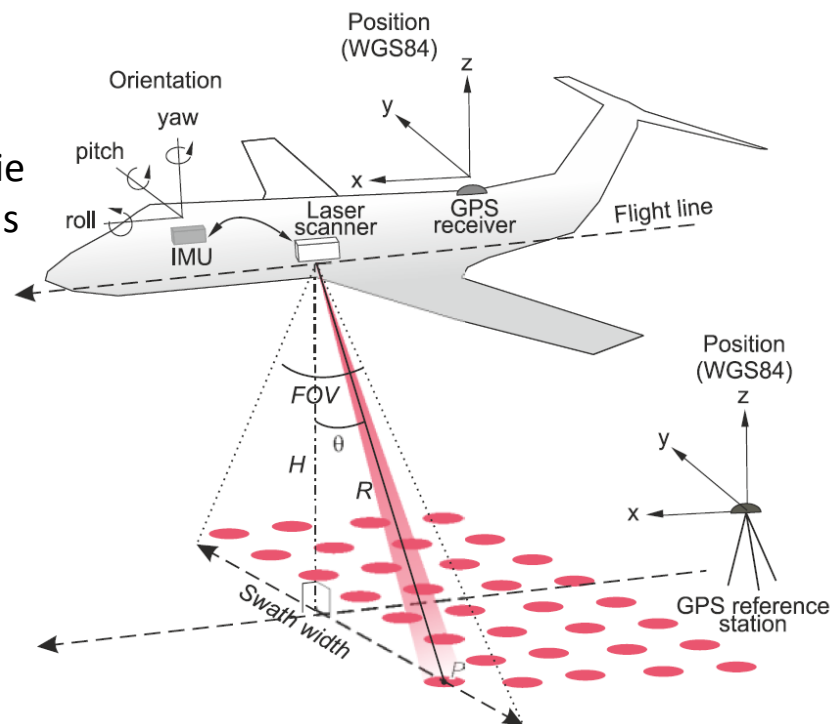
# Pulzný lidarový systém

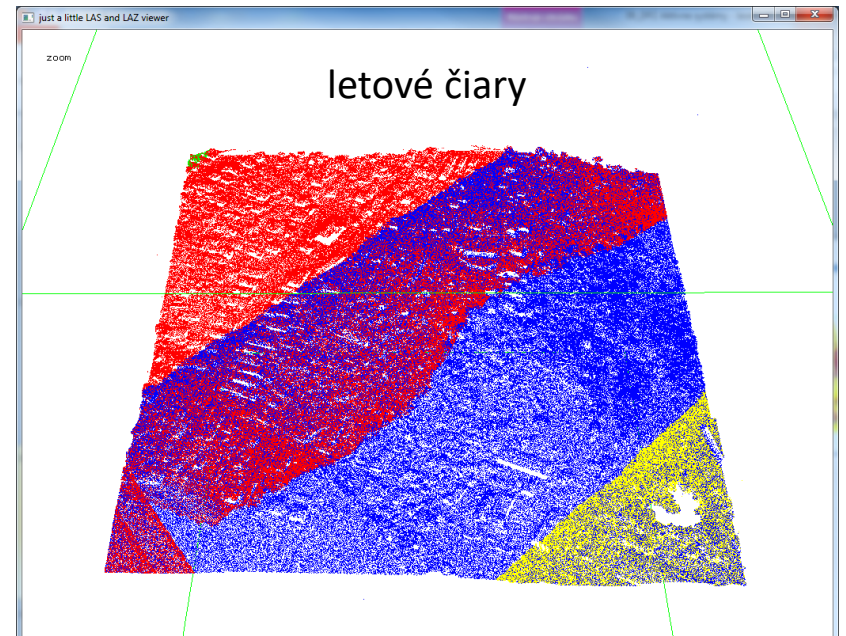
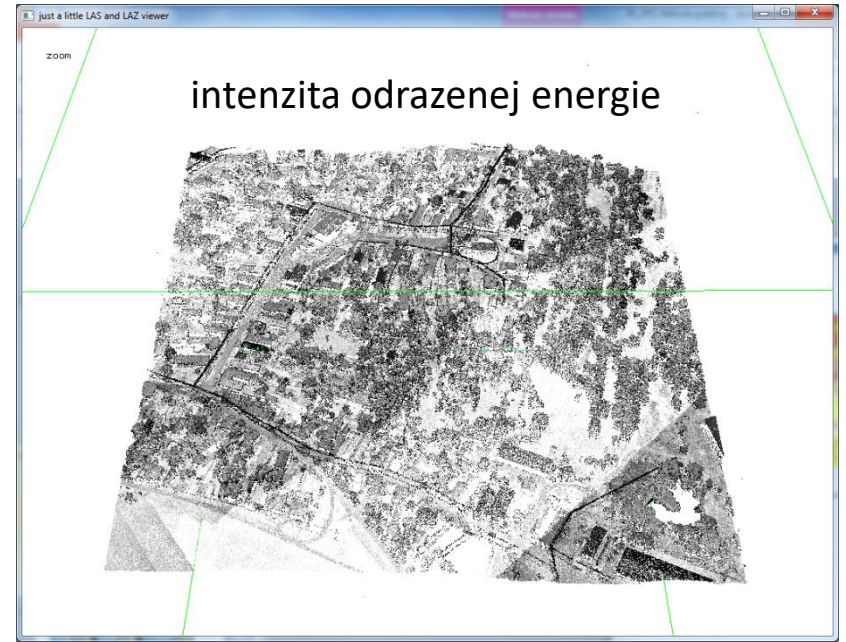
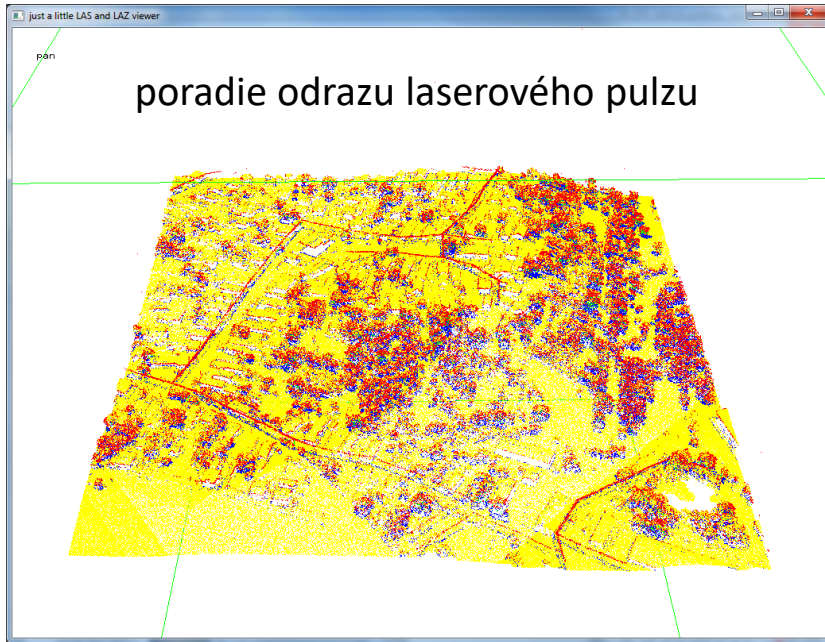
- Laserové pulzy energie v blízkej infrčervenej časti spektra (NIR, CIR) sú schopné odraziť sa od viacerých úrovní povrchov.
- Profil (waveform) prijatej energie závisí od vlastností povrchu, od ktorého sa energia odrazila.
- **Pre odlíšenie odrazu (filtrovanie bodov) je potrebné spracovanie mračna bodov, po zozbieraní nefiltrovaných (surových) dát**
- **Vegetácia:** viacero odrazov jedného pulzu
  - prvý odraz od vrchnej časti koruny
  - Ďalšie odrazy od vnútroných častí koruny
  - Posledný odraz od terénu (ak pulz dorazil až tam, väčšinou áno)
- **Budovy** – jeden odraz jedného pulzu (prvý = posledný)
  - Môže byť aj viacero odrazov ak pulz zasiahne okraj strechy, balkóna.
- **Otvorený terén** (bare earth) jeden odraz jedného pulzu (prvý = posledný)
- Diskrétny skenovanie – zaznamenávajú iba niekoľko odrazov, napr. 1-4, jedného pulzu
- „Full waveform“ systémy, veľké množstvo odrazov (desiatky, stovky) jedného pulzu.



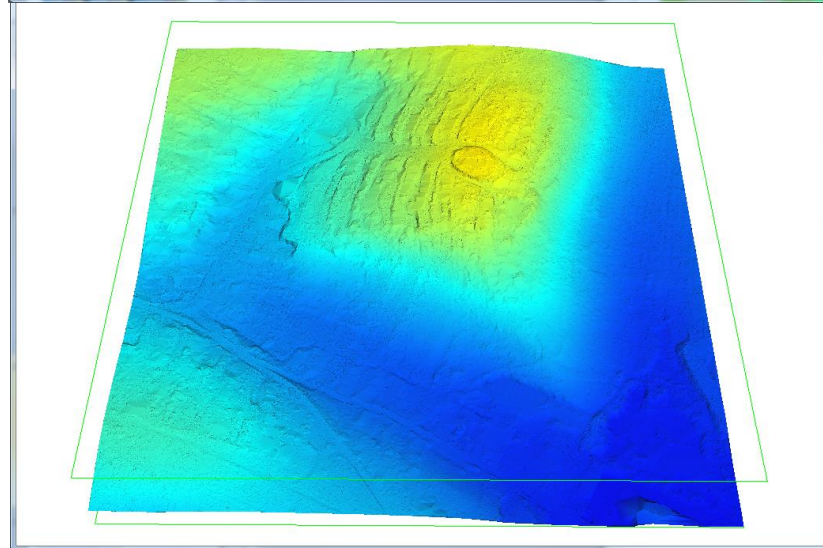
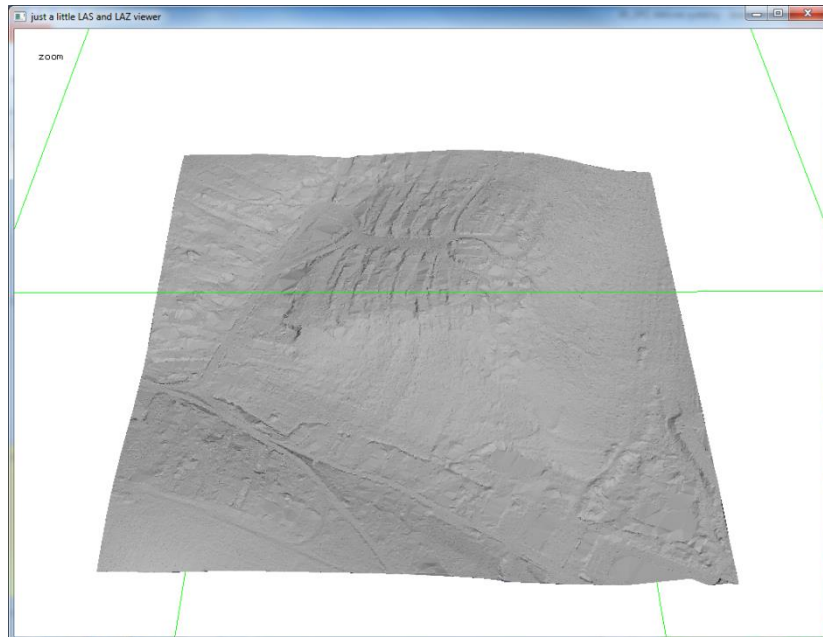
# Pulzný lidarový systém

- Dva typy:
- **S malou stopou (small footprint): veľkosť laserom osvietenej kruhovej alebo eliptickej plochy je 5-30 cm**
  - Užitočné pre detilné mapovanie, detekciu hrán (elektrické vedenia, budovy)
- **S veľkou stopou (large footprint): veľkosť laserom osvietenej kruhovej alebo eliptickej plochy je 10-25 m**
  - Využitie v globálnych projektoch, pre mapovanie výšky vegetačnej pokrývky, ľadovca, terénu ale s nižšou hustotou meraní (rádovo v 100 metrov)
- **Veľkosť stopy závisí najmä od:**
  - okamžitého uhla pohľadu (IFOV)
  - výšky letu
  - skenovací uhol (od nadiru)

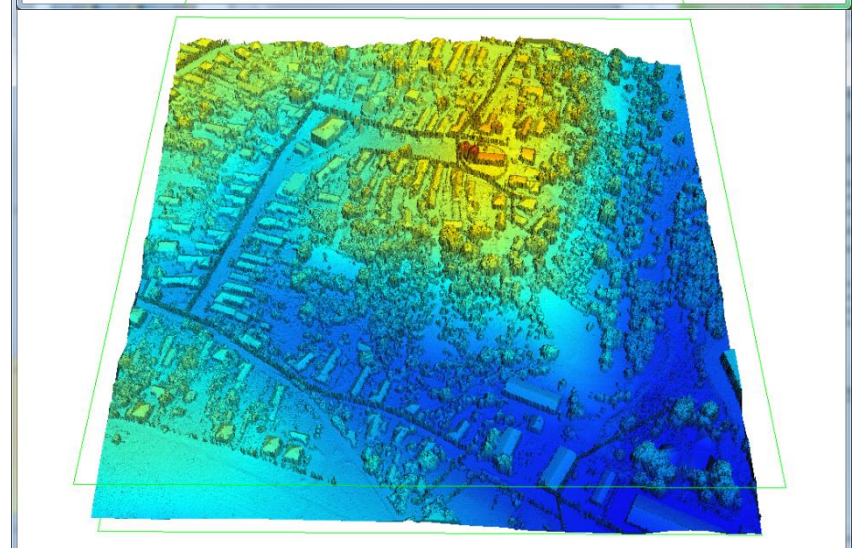
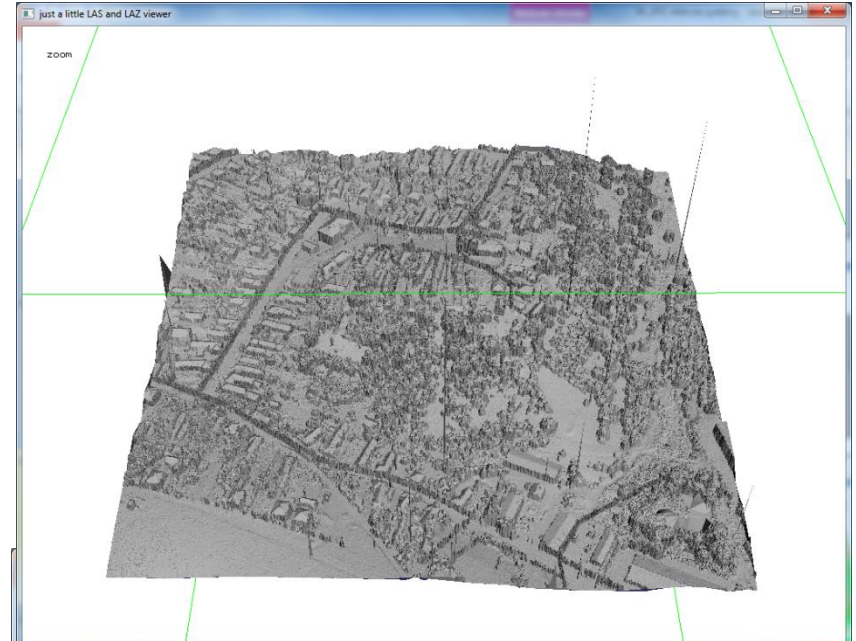




## Digitálny model terénu (reliéfu) (DMR)

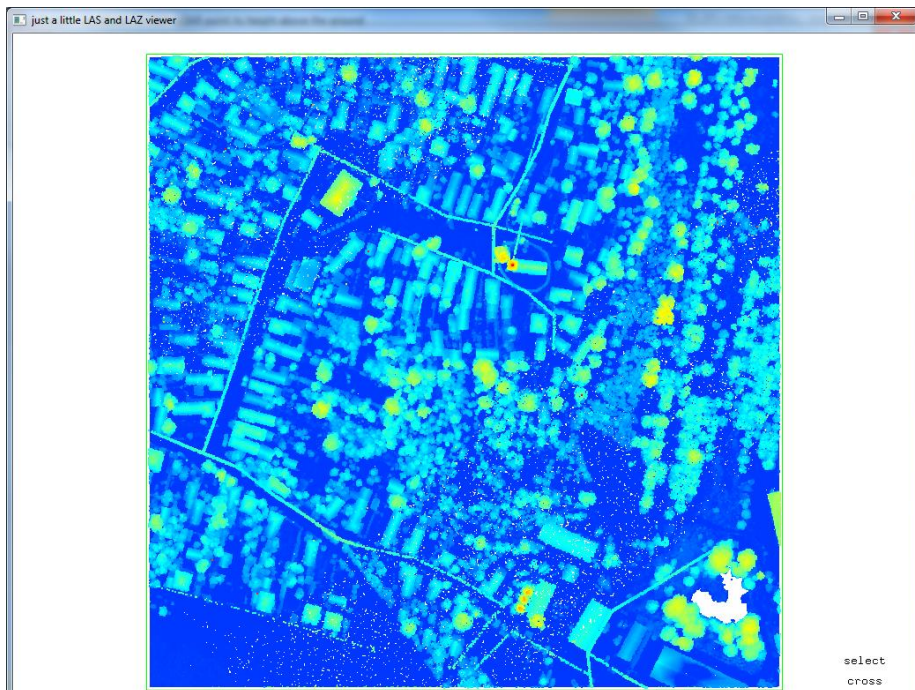


## Digitálny model povrchu krajinného krytu (Digital Surface Model)

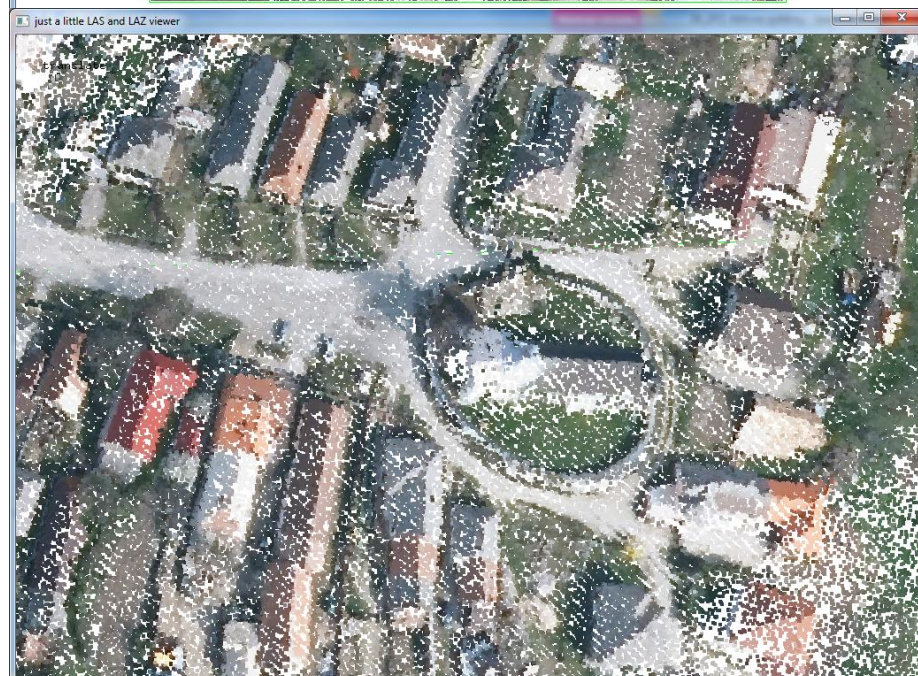
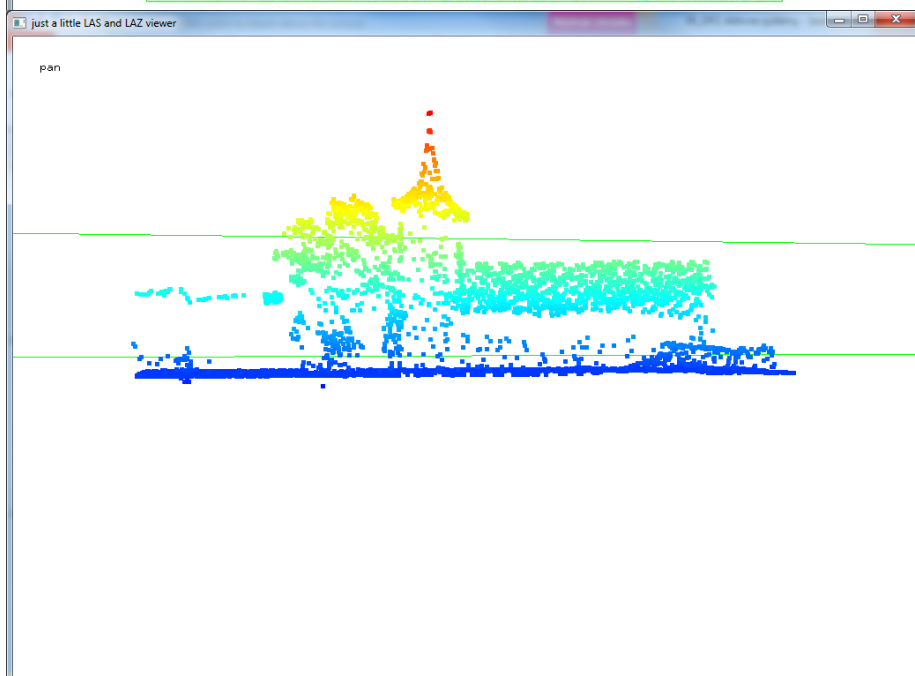
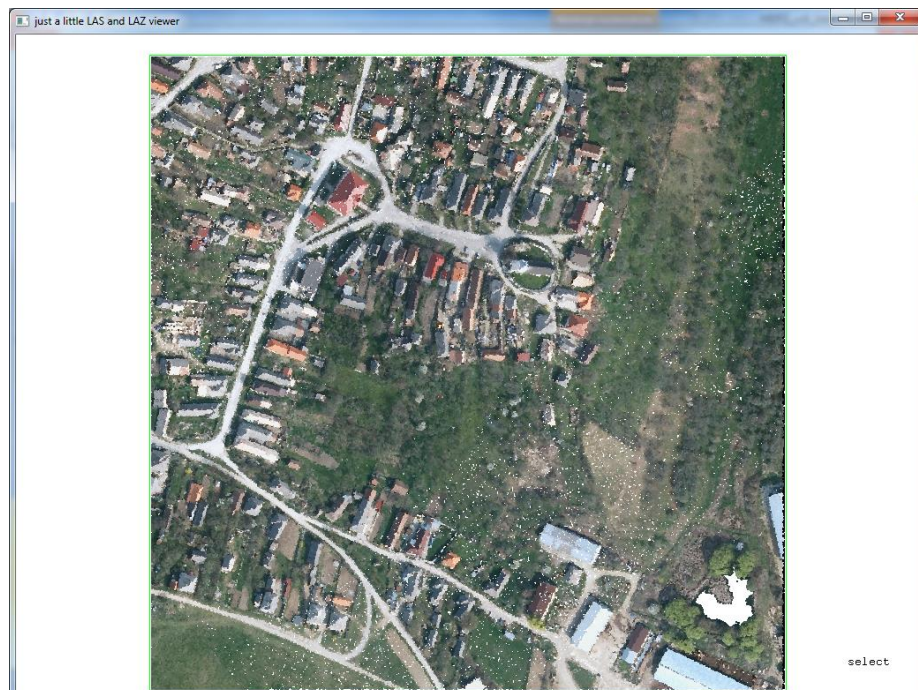




Normalizovaná výška (výška bodov nad terénom)

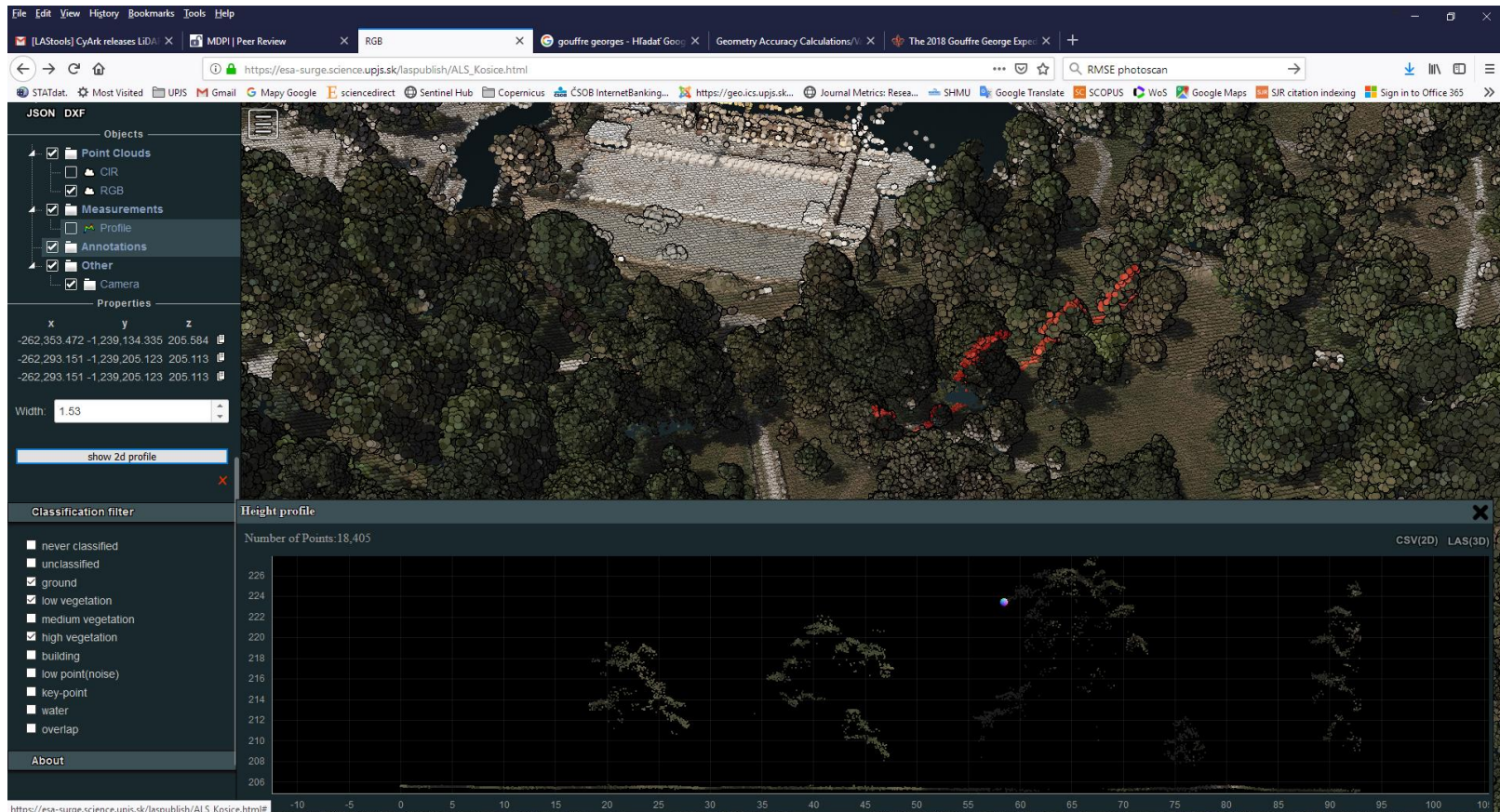


Body s priradenou farbou podľa ortofotosnímky

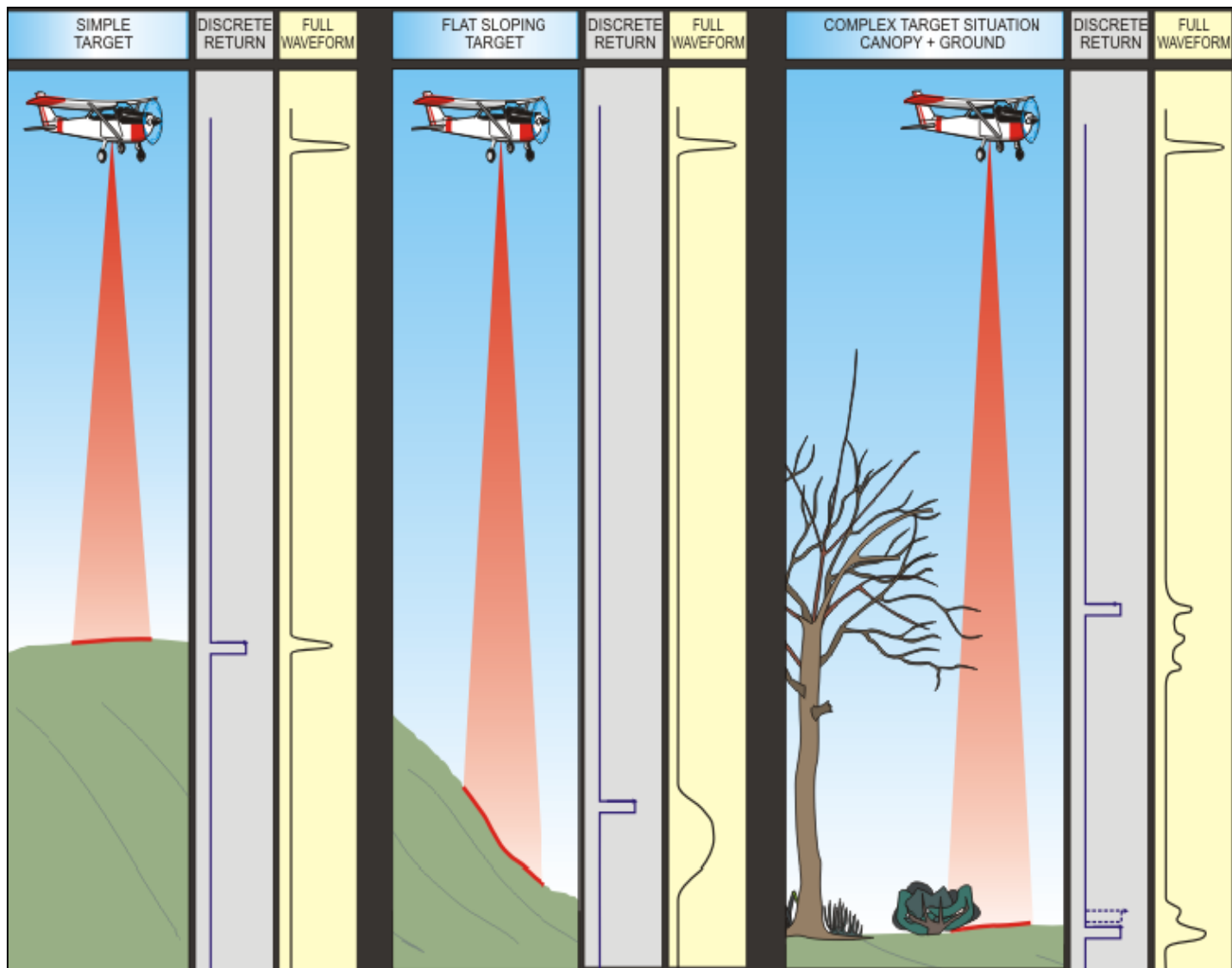


**[laspublish](https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/) - [interactive 3D Web portal](https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/) for visualization of 3D point clouds based on the cutting-edge streaming point cloud viewing technology of [Potree](http://potree.org/) that optimizes large LiDAR point clouds for streaming via the Web such that anyone can visualize, explore, and (optionally) download them with any modern browser.**

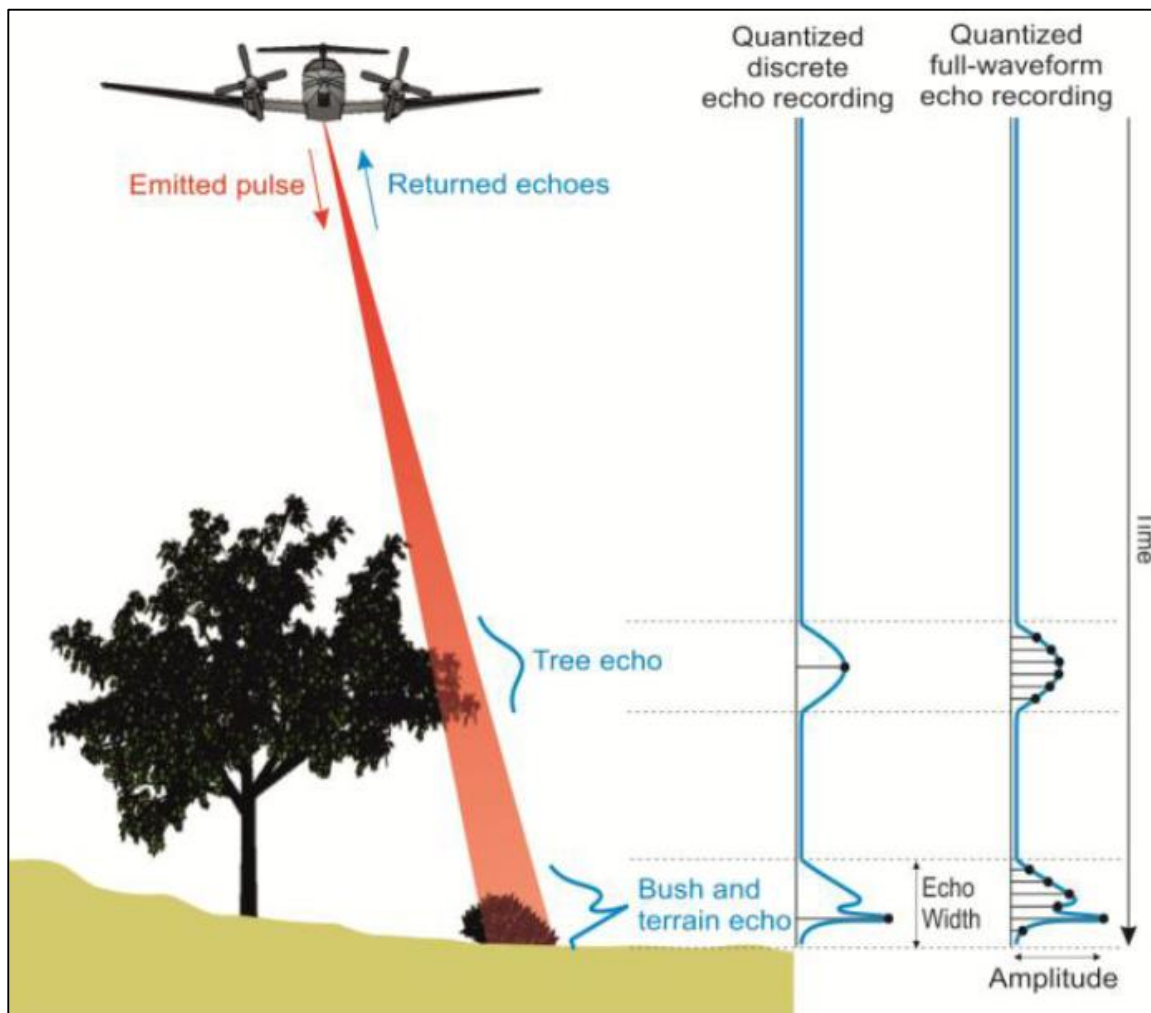
- [https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/ALS\\_Kosice.html](https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/ALS_Kosice.html)
- <http://rapidlasso.com/2018/11/21/cyark-partners-with-google-takes-over-dont-be-evil-mantra-opens-lidar-archive/>
- <http://potree.org/>



# Diskrétny a „full waveform“ záznam odrazu laserového lúča



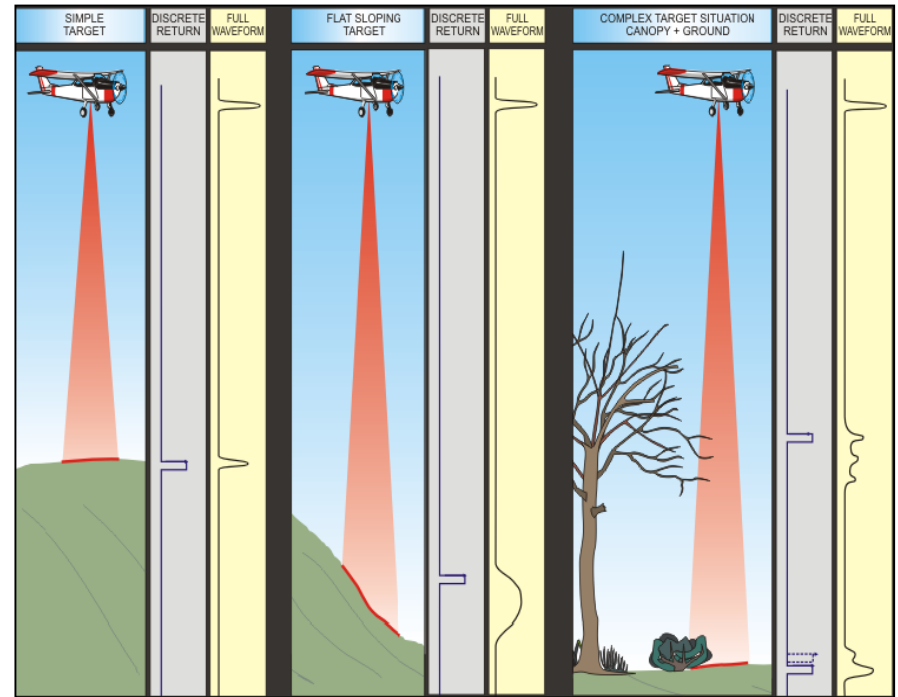
# Geometria snímania: Diskétne a „full waveform“ lidarové snímanie



# Výhody „Full waveform“ záznam odrazu laserového lúča

## Oproti diskretnému záznamu umožňuje

- vyššiu hustotu meraní
- neobmedzené množstvo záznamov odrazu jedného pulzu (zachytenie rôznych úrovní),
- vysoké rozlíšenie viacerých objektov zachytených v rámci jednej stopy (od 0.5 m pre *RIEGL LMS-Q560*),
- určenie priečneho rezu laserovou stopou.



# Aplikácie “fullwaveform” lidar

Monitorovanie v lesníctve a poľnohospodárstve

- Výška vegetácie, štruktúra vegetácie, zdravotný stav vegetácie, výpočet biomasy

Vysokodetailné mapovanie urbánnej krajiny

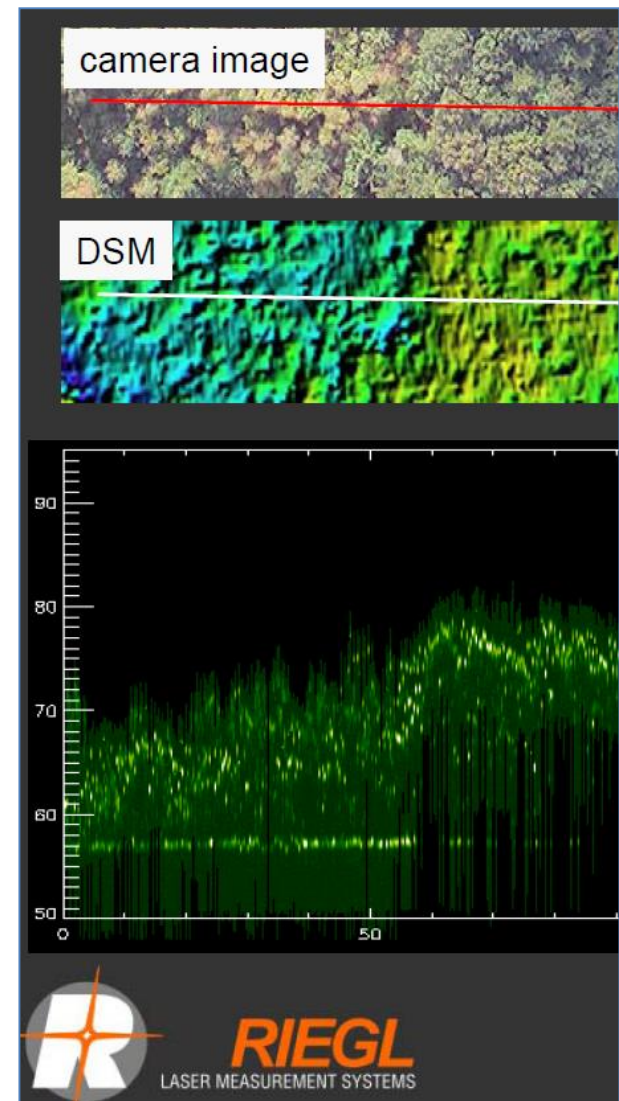
- 3D modelovanie budov, vegetácie
- zlúčenie so záznamom z pozemného laserového skenovania

Vysokodetailné mapovanie zaplavovaných území

- Vysokokvalitné digitálne modely terénu, schopnosť rozlíšiť aj nízku vegetáciu, presnejšie určenie drsnosti povrchu

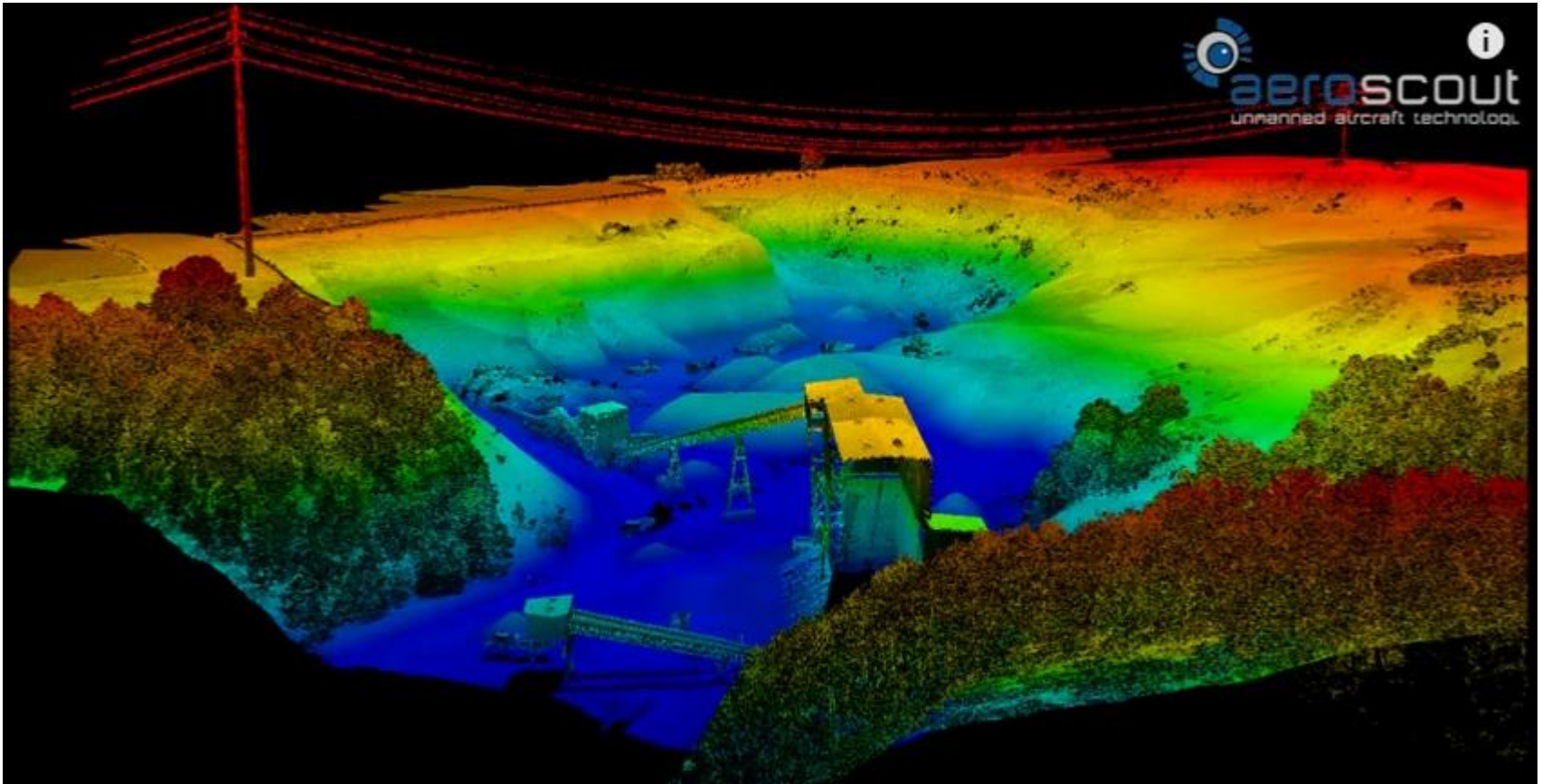
Plánovanie a manažment infraštruktúry

- mapovanie elektrického vedenia, potrubí, železníc, ciest



# Pulzný lidar: mapovanie elektrického vedenia bezpilotným autonómnym systémom Scout B1-100 + Riegl VUX-1 skener

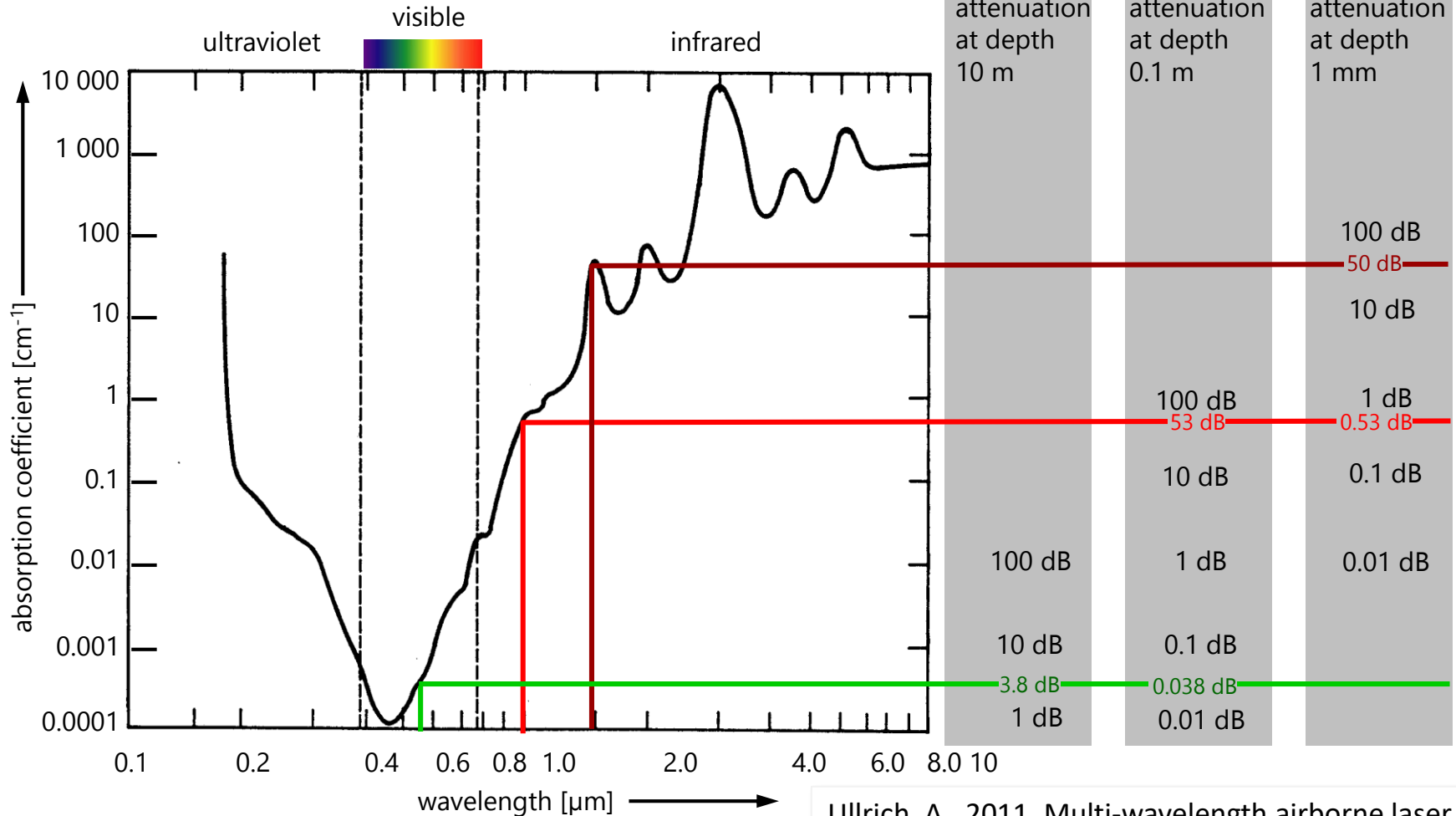
[https://www.youtube.com/watch?v=x0\\_eKHIEeTI](https://www.youtube.com/watch?v=x0_eKHIEeTI)



# Pohlcovanie laserového žiarenia morskou vodou

Pohlcovanie zeleného laserového žiarenia je veľmi nízke preto sa využíva pre mapovanie dna plytkých pobrežných zón.

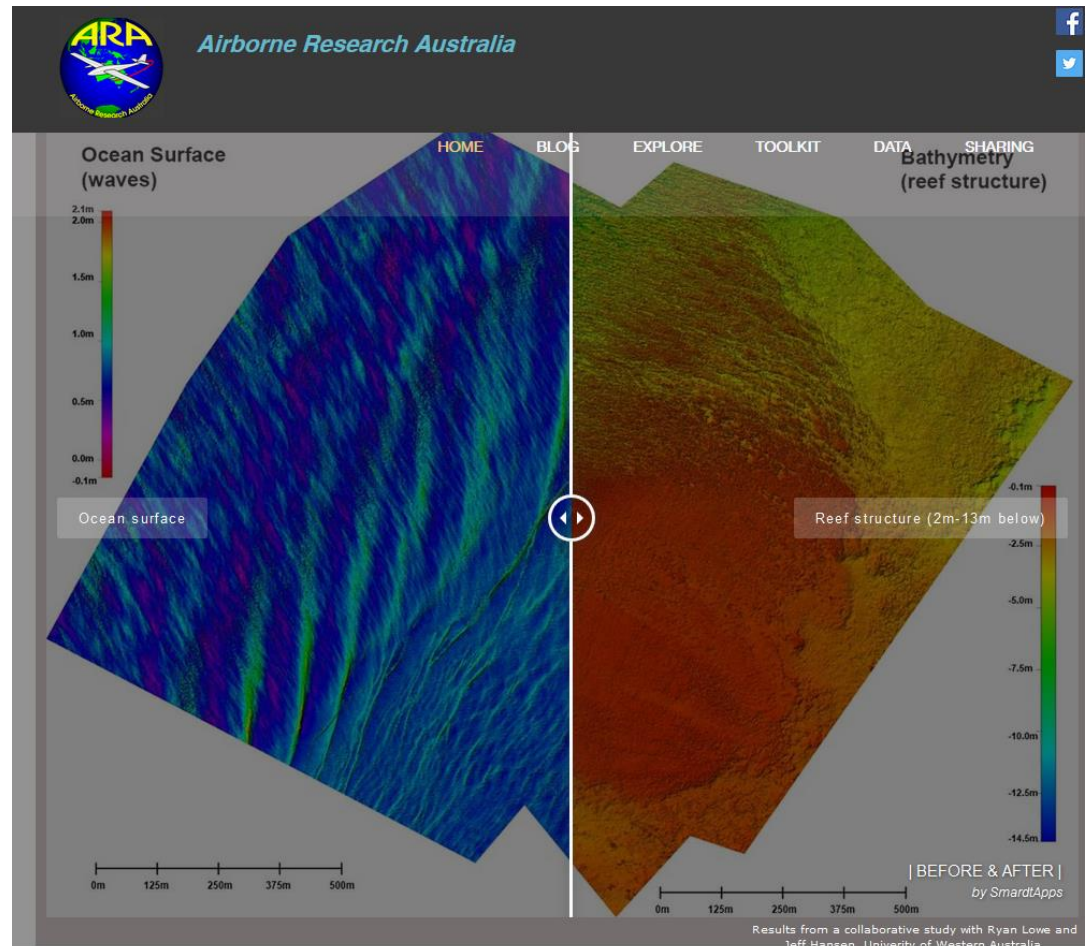
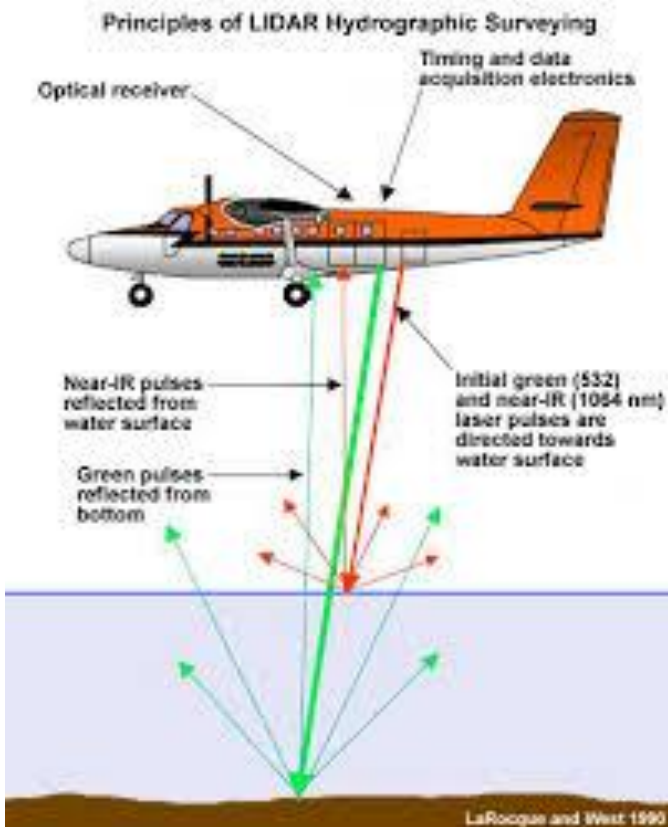
absorption coefficient of clear seawater



Ullrich, A., 2011. Multi-wavelength airborne laser scanning, RIEGL. Int. Lidar Mapping forum, New Orleans.



# Bathymetric lidar



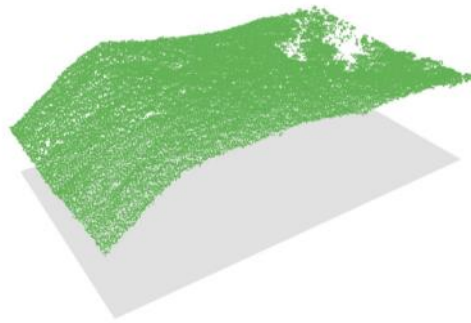
<http://www.airbonereseach.org.au/>

# Klasifikácia bodov

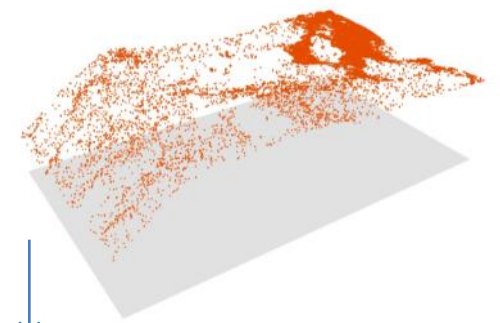
Všetky typy bodov (7)



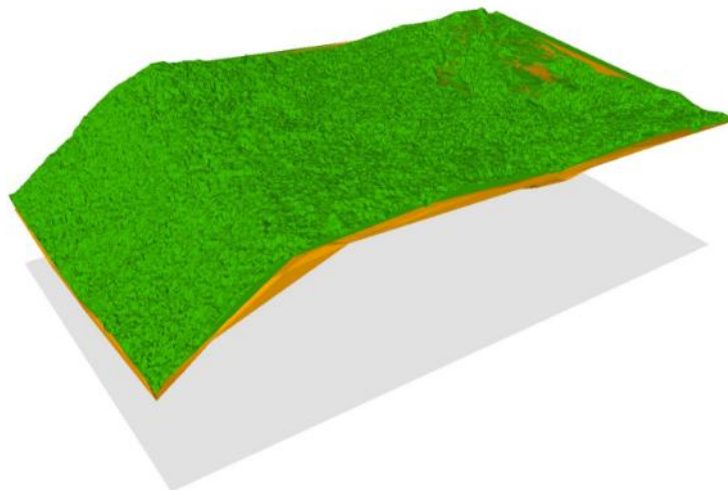
Prvý odraz



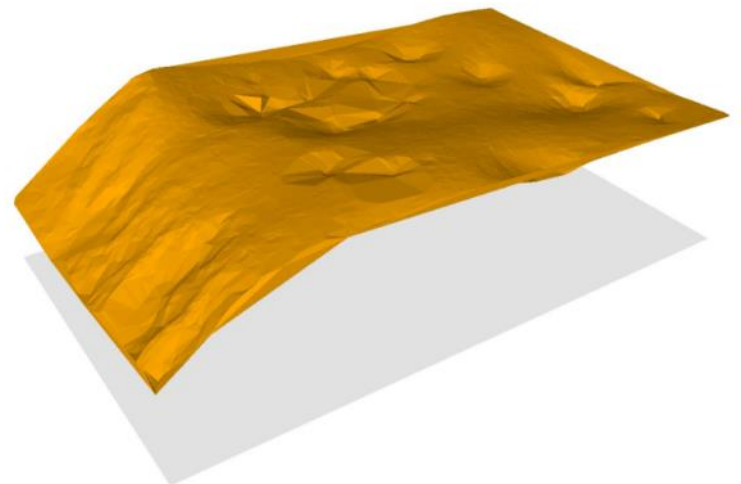
Posledný odraz



Model povrchu vegetácie nad modelom terénu



Model terénu



# Presnosť, frekvencia, výška letu

## Leica ALS50-II



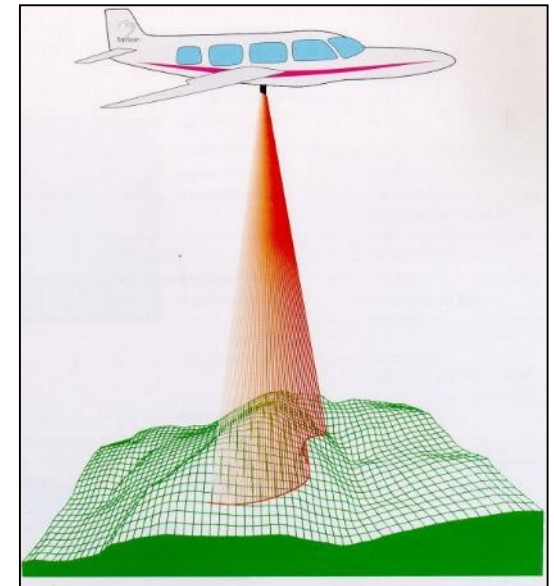
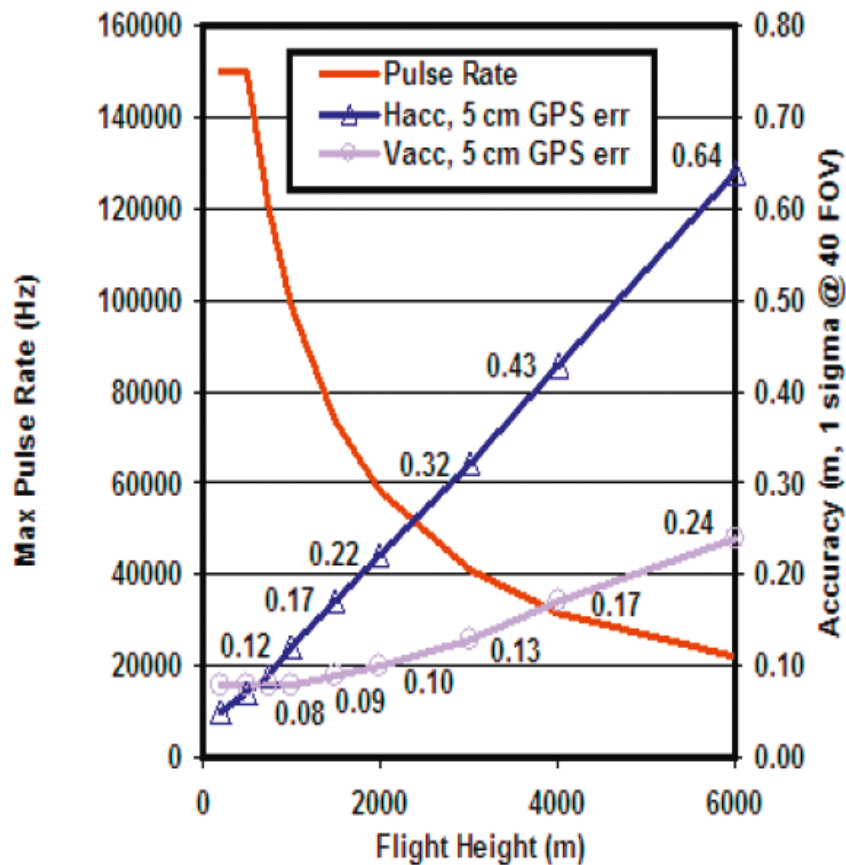
Industry's highest performance scanner



All controls via airborne-qualified display

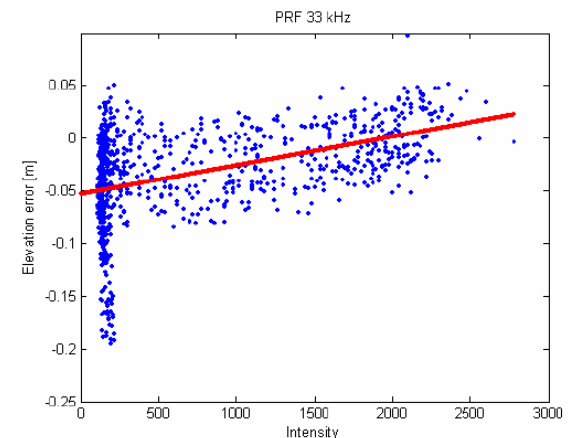
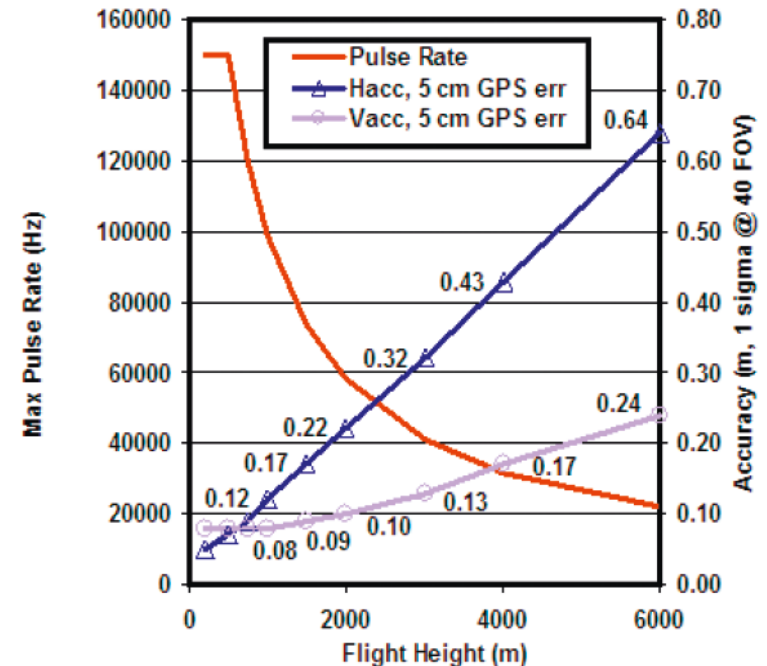


Smallest, lightest electronics in class



# Presnosť, frekvencia, výška letu

- **Range resolution** – minimálna vzdialenosť medzi dvomi odrazmi toho istého pulzu, schopnosť rozlíšiť dve úrovne povrchu od seba
- Jeden pulz trvá cca 5 nanosekúnd teda jeho dĺžka v metroch je
- $5 \cdot 10^{-9} \text{ sekúnd} * 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 1,5 \text{ m}$
- **Celková presnosť** súvisí s výškou letu, frekvenciou pulzov, odrazivosťou povrchu, náklonom lietadla, ...



# Porovnanie niektorých pulzných topografických lidarových systémov

Manufacturer	Leica Geosystems	Optech	Airborne Hydrography AB	Riegl	TopoSys (Trimble since 2012)
Scanner type	ALS50-II	ALTM Gemini	Hawk Eye II	Riegl VQ-480	Falcon II
Weight of the laser scanner [kg]	36.1	23	95	13	41
Weight of the laser system [kg]	93.4	76	160	N/A	95
Wavelength [nm]	1,064	1,064	532 (bathy); 1,064 (topo)	1,550	1,560
Field of view [deg.]	75	50	50	60	14
Scanning method	oscillating mirror	oscillating mirror	2-axis gimbal mirror	rotating multi-facet mirror	fibre based
Intensity measurement [bit]	8	12	8 (bathy)	16	12
Beam divergence [mrad]	0.22	0.25 and 0.8	2-12	0.3	1
Pulse repetition frequency [kHz]	20 – 150	167	4 (bathy); 64 (topo)	50-200	83
Scanning rate [Hz]	≤ 90	≤ 70	≤ 13	≤ 100	N/A
Operating altitude (min./typical/max.) [m]	200/2500/7,00	150/2000/4,00	250/500	10/450/800	30/900/1,600
Number of echoes recorded [count]	≤ 4	≤ 4	full waveform (bathy); ≤ 4 (topo)	full waveform	≤9
Pulse duration [ns]	4-9	7	5	5	5
Vertical accuracy at 1σ [cm]	≤10	5 - 35	≤ 25 (bathy); ≤ 15 (topo)	≤15	≤15
Horizontal accuracy at 1σ [cm]	≤24	3 - 72	≤ 250 (bathy); ≤ 50 (topo)	≤10	≤10
Reference of application	Kereszturi et al. (2012)	Hladik and Alber (2012)	Chust et al. (2010)	Razak et al. (2011)	Morsdorf et al. (2008)

Gallay (2013). Airborne laser scanning. Geomorphological Techniques, Chap. 2, Sec. 1.4 (2013).

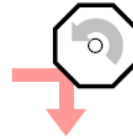
# Mechanizmy skenovania

mechanizmus

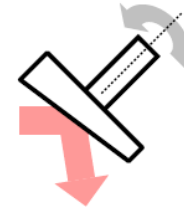
Oscillating mirror



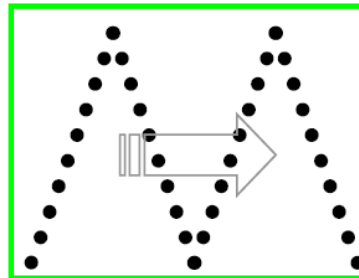
Rotating polygon



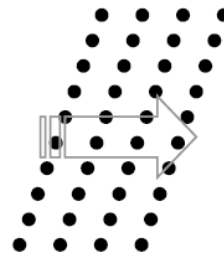
Nutating mirror (Palmer scan)



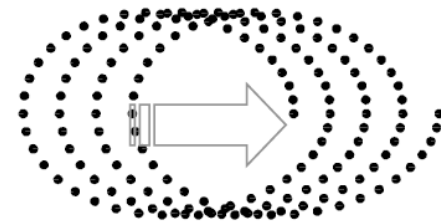
Z-shaped, sinusoidal



Parallel lines



“Elliptical”



vzor  
na skenovanom  
povrchu

# Nosiče

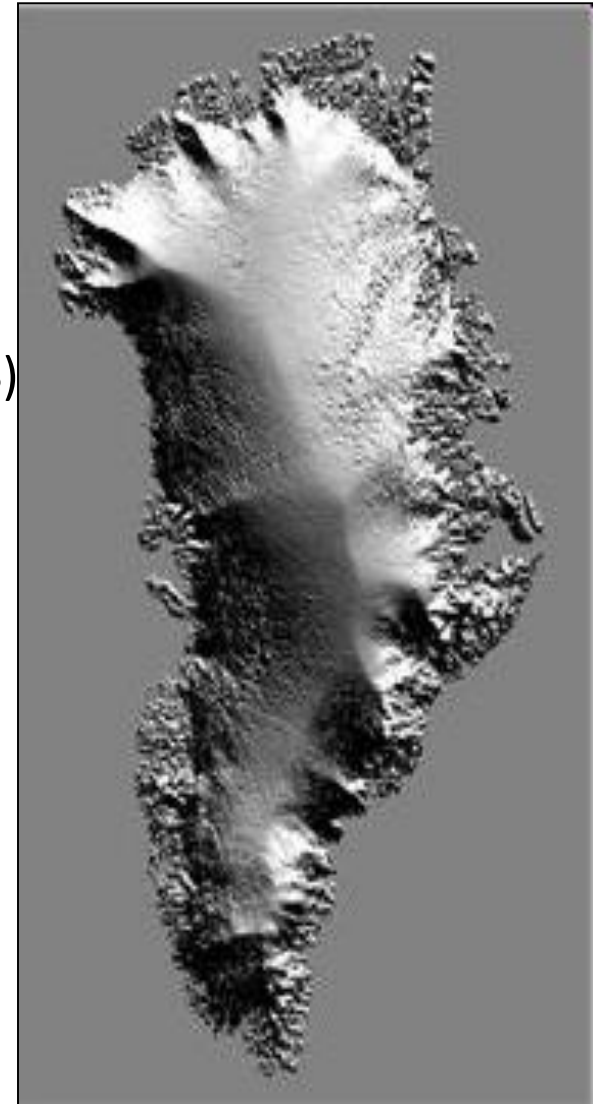
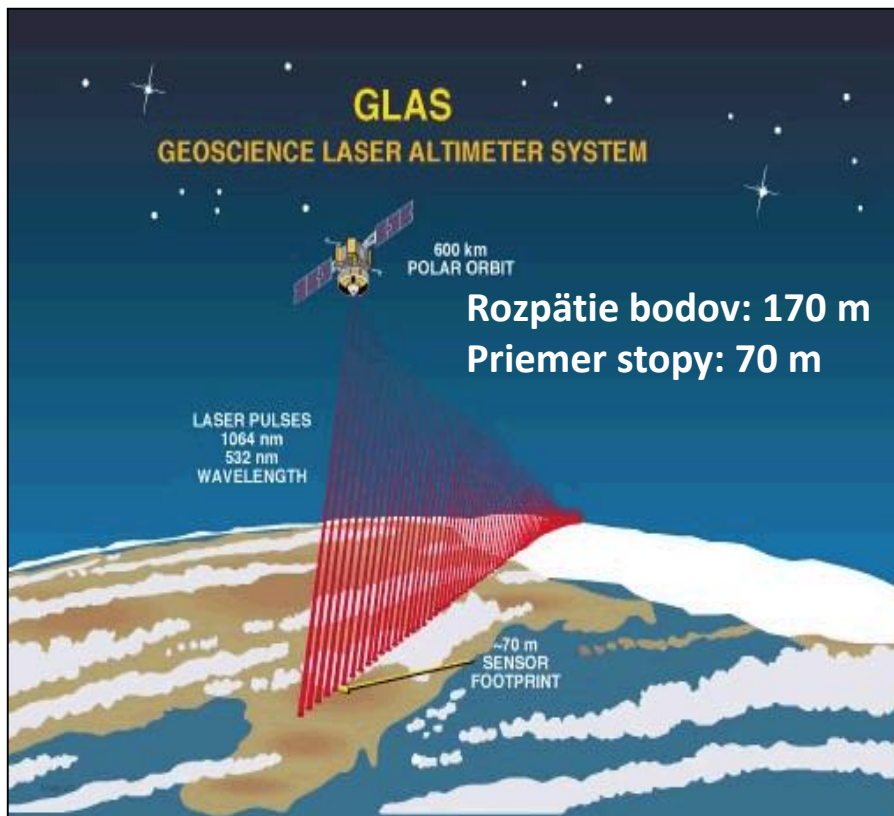
Nosič	Družicový (napr. GLAS)	Letecký (LLS)	Pozemný (PLS)
Výška letu	600 km	1 km	1 m
Priemer stopy	60 m	25 cm	1-10 cm
Vertikálna presnosť	15 cm - 10 m (závisí od sklonu svahu)	20 cm (závisí od sklonu svahu)	1-10 cm (závisí najmä od vzdialenosti)

# Nosiče

## Družicový LiDAR

Nosič: Ice, Cloud, and land Elevation Satellite (ICESat)

Lidarový senzor - Geoscience Laser Altimeter System (GLAS)



DMR Grónska z GLAS údajov

<http://nsidc.org/daac/projects/lidar/glas.html>



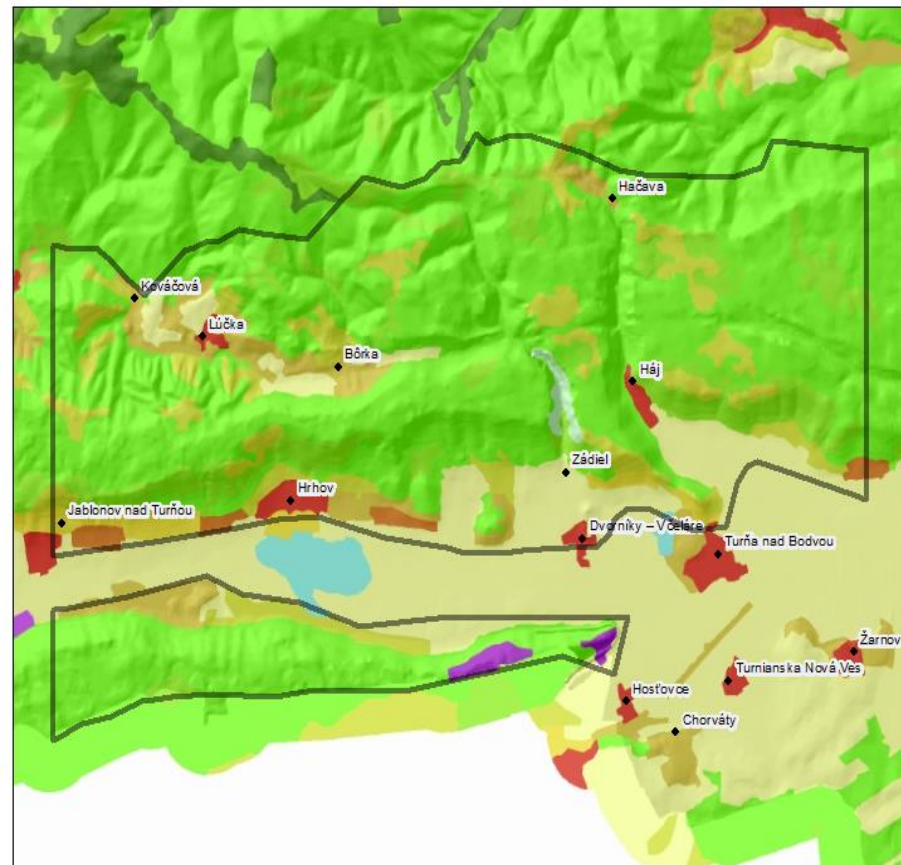
# Referenčné dáta CaKS – metadáta k bodom LLS

## Pre Centrum excelentnosti znalostných systémov

Obdobie snímkovania: 09/2009  
Nosič senzora: lietadlo  
Výška letu nad terénom: 3500 m  
Presnosť merania (RMSE z): 23 cm

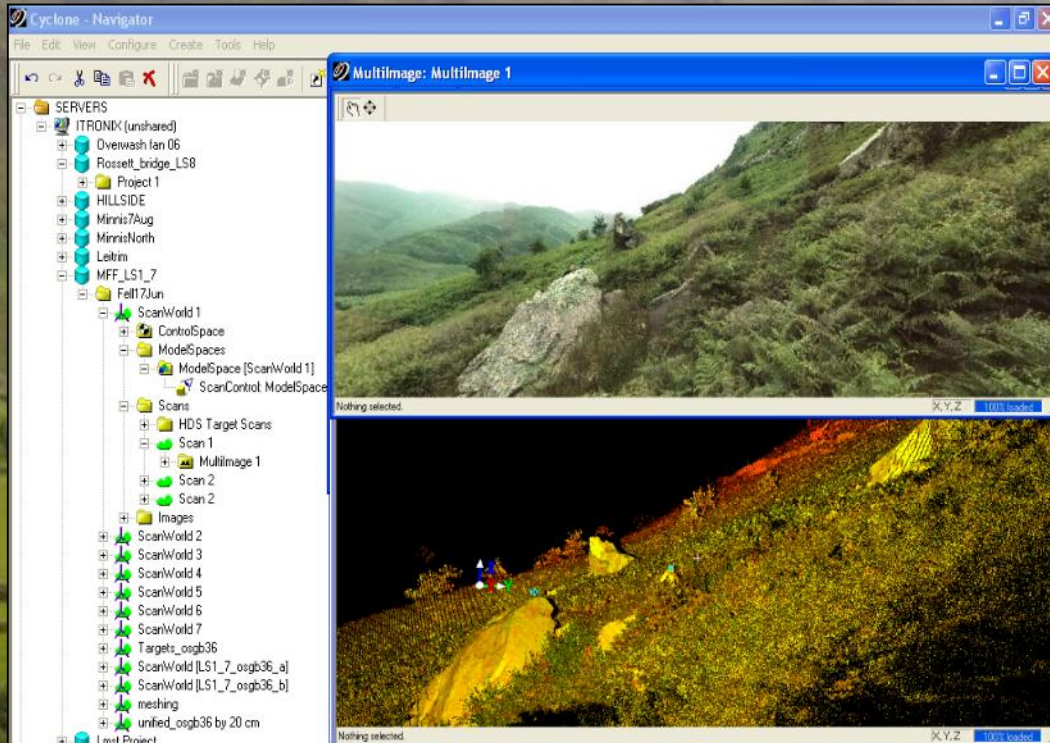
Rozloha: 141 km<sup>2</sup>  
Počet bodov: 23 500 000  
Priemerná vzdialenosť bodov: 2,4 m

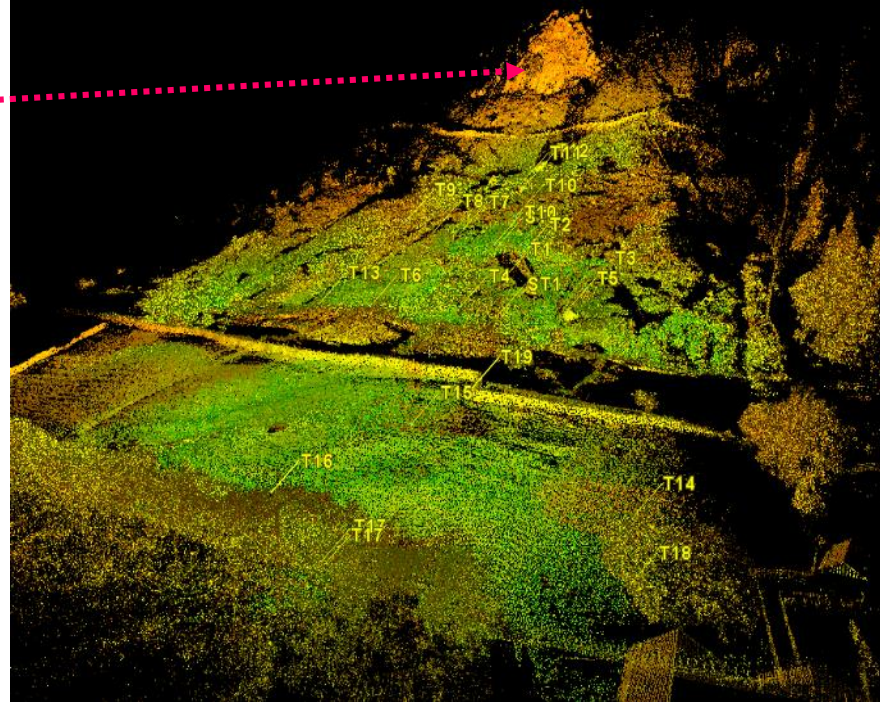
Rozsah  
oblasti: východná časť NP Slovenský kras  
(Soroška-Drienovec)



0 2 500 5 000 m

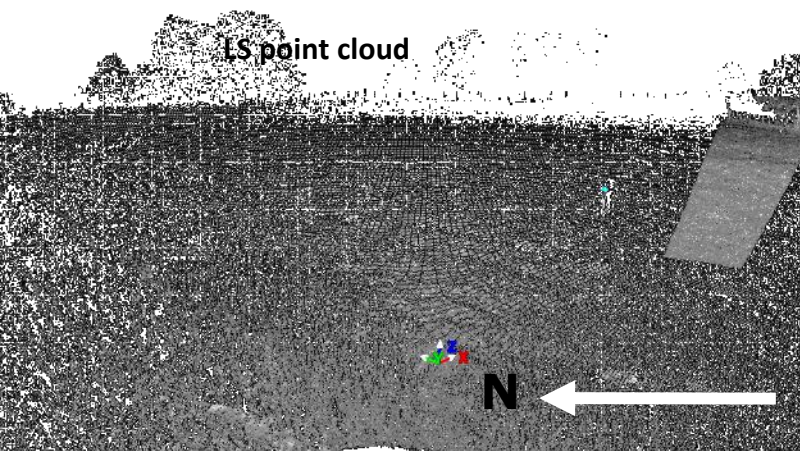
# Pozemné laserové skenovanie





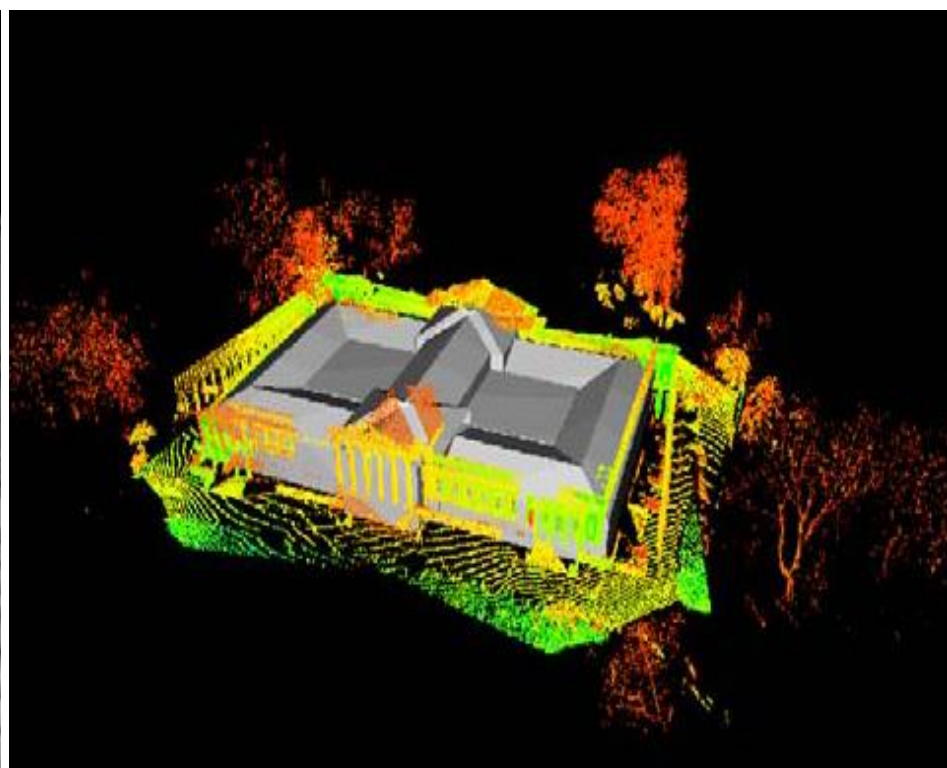
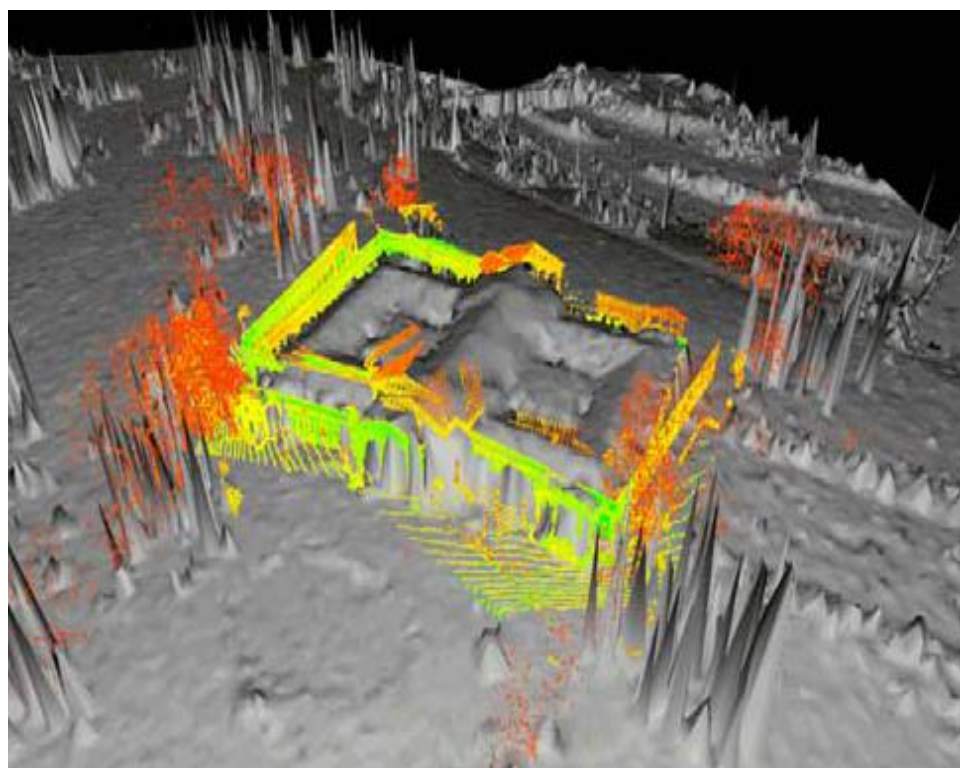
Site at the Middle Fell Farm

LS point cloud



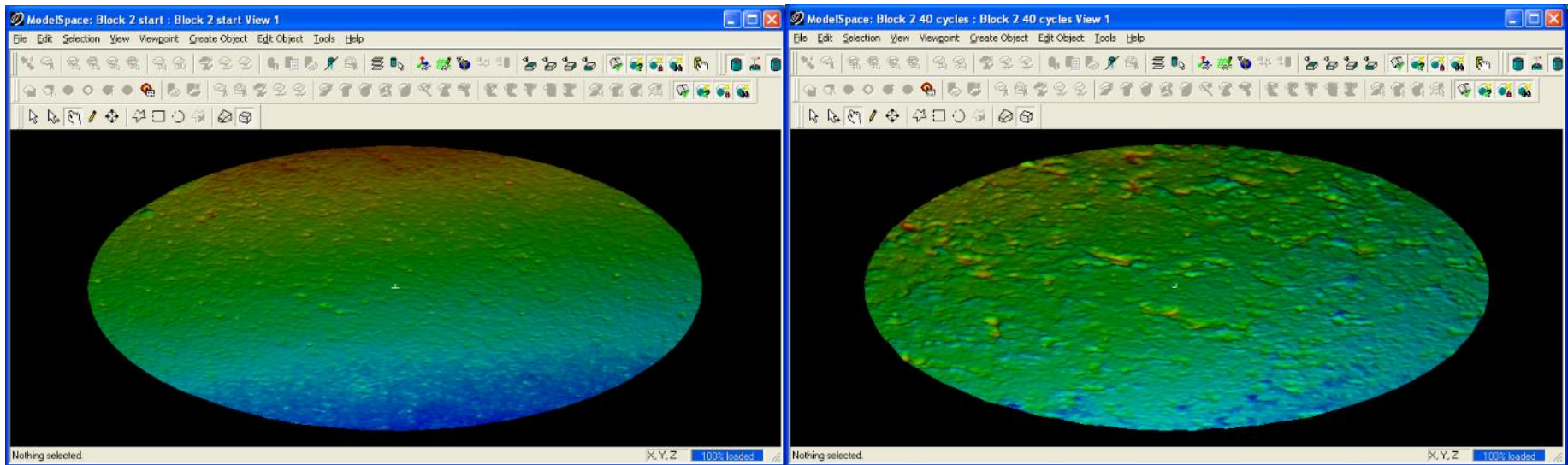
Site at the Rossett Bridge

# Kombinácia pozemného a leteckého skenovania pre extrakciu budov.



# Objektové skenovanie

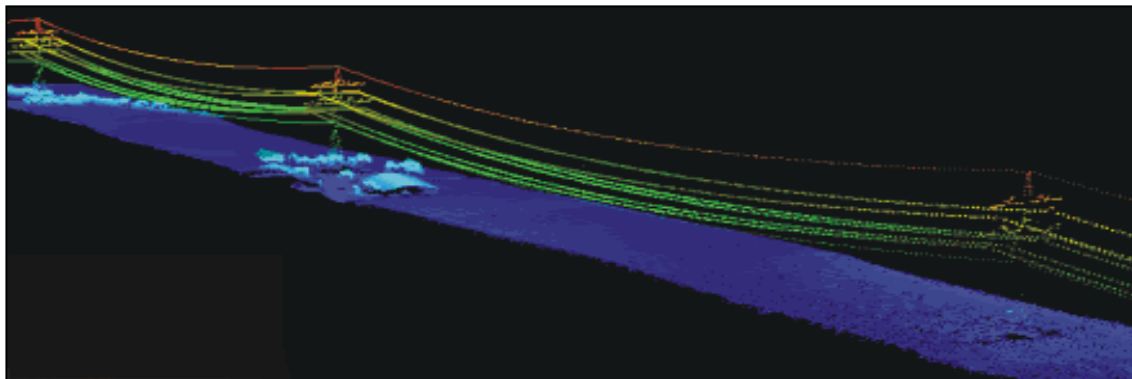
Digitálny model povrchu pieskovca pred a po 40 cykloch laboratórneho soľného zvetrávania. Hustota merania 1 000 000 bodov/m<sup>2</sup>.



Zdroj: Stephen McCabe (QUB Belfast)

# Odrazivost' povrchu

- Slaboodrazivé povrchy môžu byť nedetekovateľné, resp. vysokoodrazivé povrchy menej presne zamerané.
- Príliš silný odraz slnečného žiarenia od vysokoodrazivého povrchu môže presýtiť detektor a meranie bude neplané alebo menej presné.
- Najmenší rozmer detekovateľného objektu závisí od odrazivosti jeho povrchu.



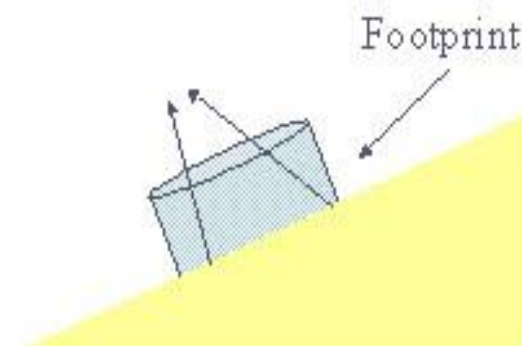
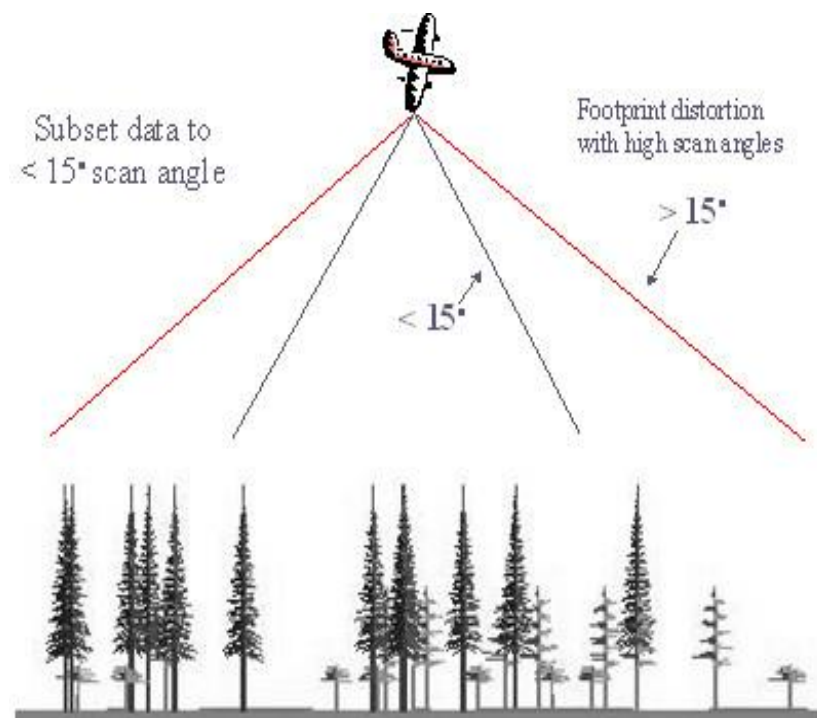
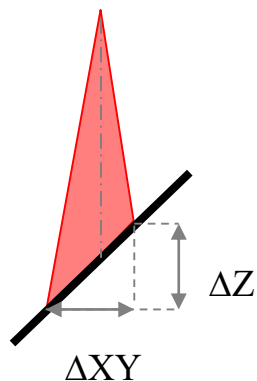
MATERIAL	REFLECTIVITY @ $\lambda = 900$ nm
Dimension lumber (pine, clean, dry)	94%
Snow	80-90%
White masonry	85%
Limestone, clay	up to 75%
Deciduous trees	typ. 60%
Coniferous trees	typ. 30%
Carbonate sand (dry)	57%
Carbonate sand (wet)	41%
Beach sands, bare areas in desert	typ. 50%
Rough wood pallet (clean)	25%
Concrete, smooth	24%
Asphalt with pebbles	17%
Lava	8%
Black rubber tire wall	2%

# Zdroje chýb

## Zber

- uhol sklonu reliéfu
- uhol skenovania
- presnosť klesá so vzrastajúcim sklonom svahu

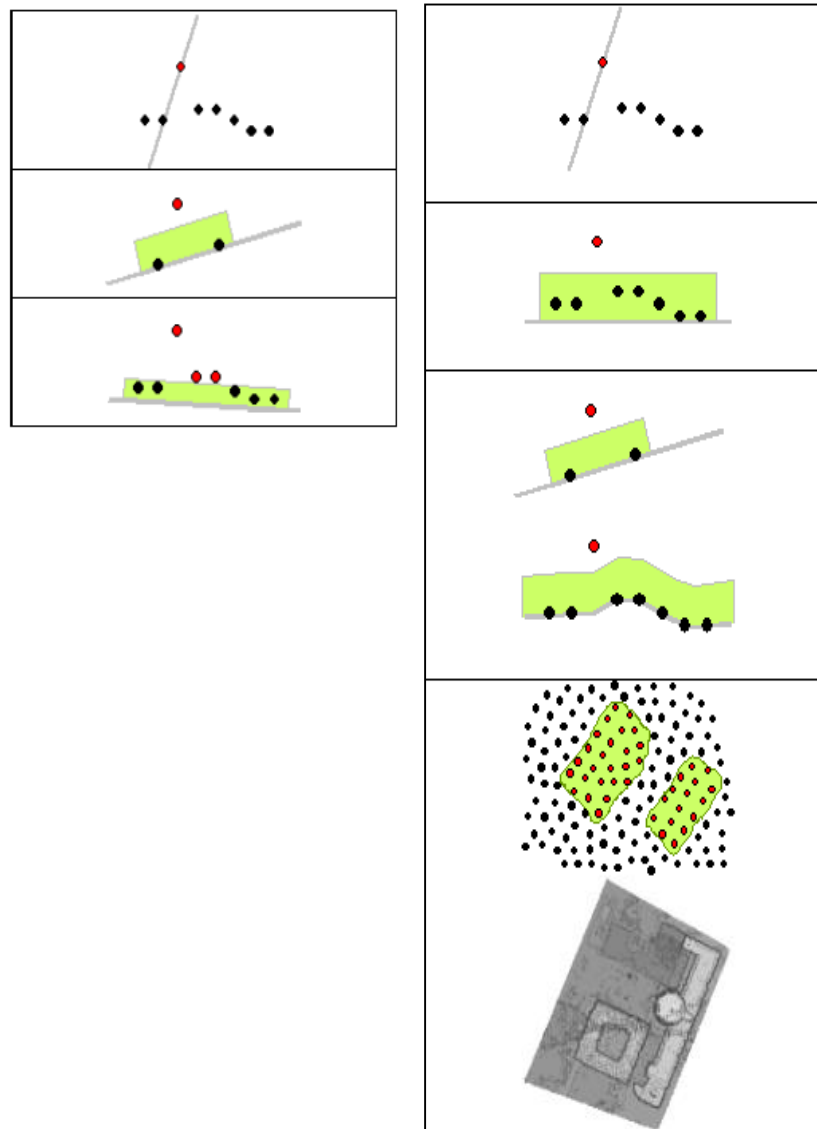
Laserová stopa na svahu



# Zdroje chýb

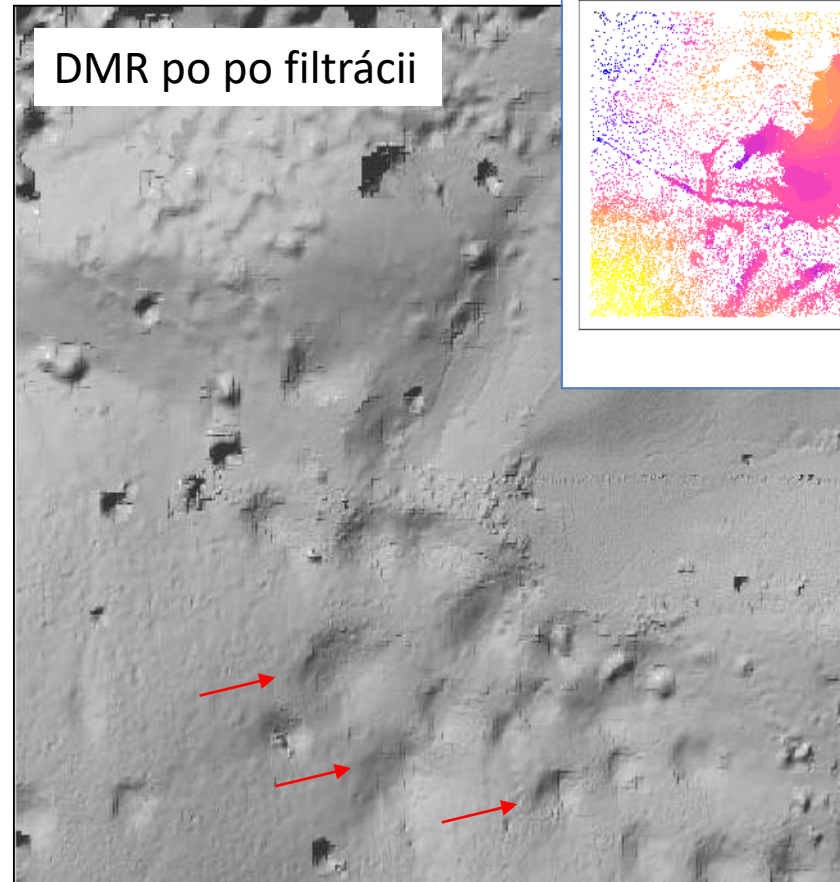
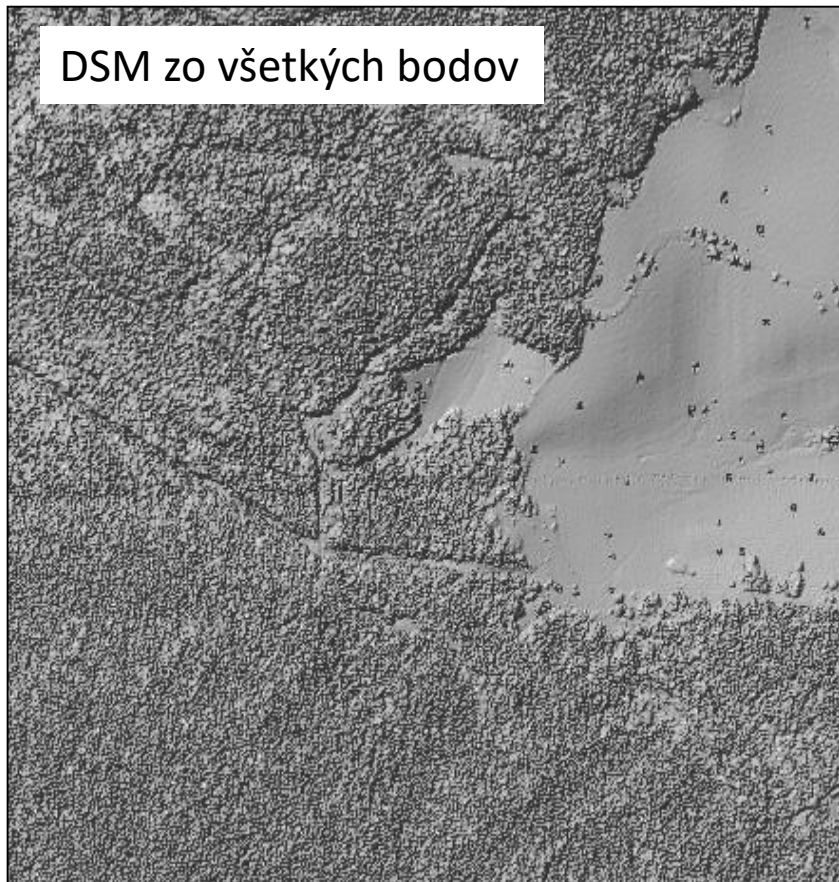
## Filtrovanie údajov

- Záznam viacerých odrazov laserového lúča
- Pre tvorbu modelov reliéfu (terénu), detekciu budov, stromov, je potrebné body filtrovať (klasifikovať)
- Rôzne algoritmy produkujú rôzne výsledky.
- Porovnávanie bodov v definovanom malom okolí.
- Napr. na základe lokálneho sklonu, krivosti, zhlukovania.





# Spracovanie LiDAR údajov – filtrovanie



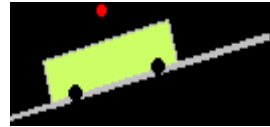
Oblasť západne od obce Silica

Bunka rastra: 1 m

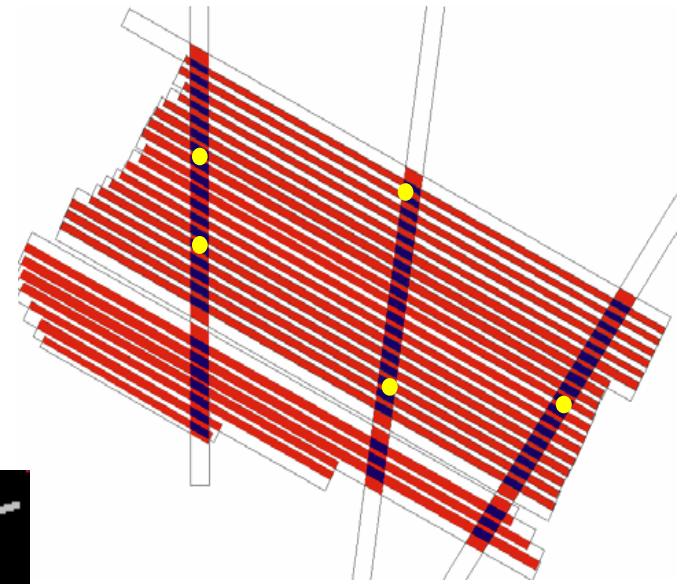
# Zdroje chýb

## Systematické chyby

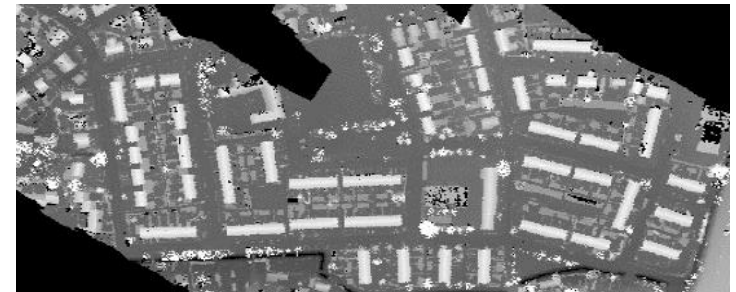
- nepresná kalibrácia celého meracieho systému (skener+DGPS+IMU) limituje externú orientáciu skenovaných pásov
- výsledkom je systematická chyba merania („odskok“ pásu bodov)



- Odstránenie chyby vyžaduje zber kontrolných bodov skenovaním naprieč cez ostatné pásy
- Taktiež pozemný zber kontrolných bodov (najmä okraje násypov, rohy budov)
- Zlepšenie horizontálnej chyby (40%) a vertikálnej chyby (25%)



Priečny prekryt viacerých pásov je potrebný pre úplne vyrovnanie chýb.

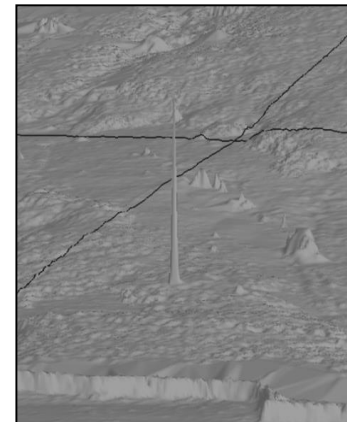


Výsledné mračno bodov po odstránení systematických chýb.

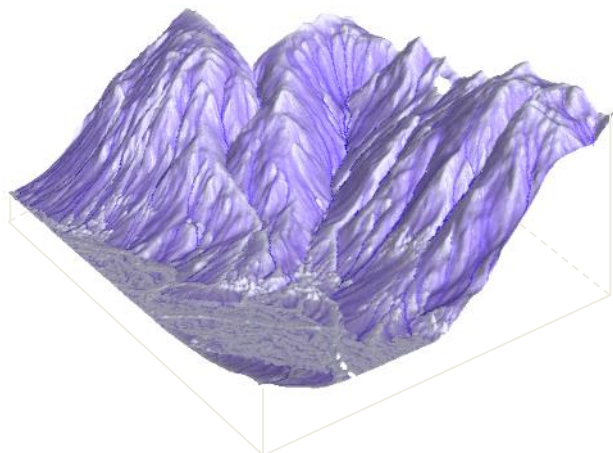
# Súvisiace problémy

- Zachytenie rozdielnych rozlišovacích úrovní
- Náhodné chyby (šum)
- Prítomnosť antropogénnych foriem reliéfu,
- Redundancia údajov, a súvisiaca výpočtová náročnosť.

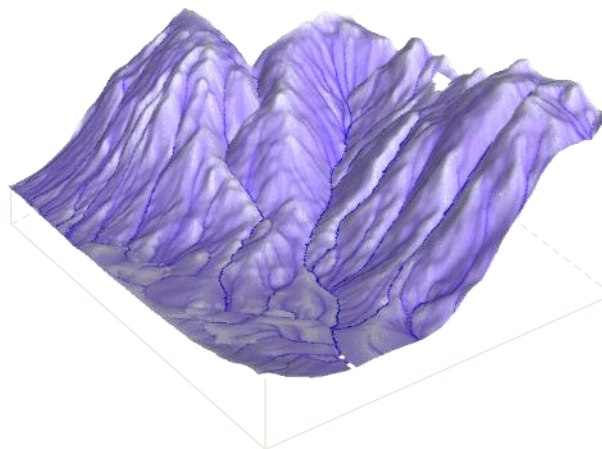
Náhodné chyby



LiDAR DMR



DMR z vrstevníc



# Využitie laserového skenovania

- tvorba digitálnych modelov reliéfu
  - najmä urbánne oblasti
  - povodňové oblasti
- mobilní operátori
- architektúra
- modelovanie povodní
- detekcia elektrických vedení
- Lesníctvo - výška lesného porastu, výpočet biomasy
- prírodné havárie
- meteorológia
- podzemné staviteľstvo, ....

DPZ

<http://apps.agi.com/SatelliteViewer/>

<https://earthengine.google.com/timelapse/>

<https://sinergise.com/>

<https://www.planet.com/>

<https://earth.nullschool.net/>

<https://mapscloud.udg.edu/sigtedataviz2019/>

[https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/ALS\\_Kosice.html](https://esa-surge.science.upjs.sk/laspublish/ALS_Kosice.html)

<https://geografia.science.upjs.sk/webshared/Laspublish/Tatry/Tatry.html>

[https://geografia.science.upjs.sk/webshared/Laspublish/Domica/Domica\\_Liscia.html](https://geografia.science.upjs.sk/webshared/Laspublish/Domica/Domica_Liscia.html)

[https://geografia.science.upjs.sk/webshared/Laspublish/GOUFFRE\\_GEORGES/cave.html](https://geografia.science.upjs.sk/webshared/Laspublish/GOUFFRE_GEORGES/cave.html)

[https://eos.com/landviewer/?lat=48.69757&lng=21.39197&z=11&side=R&slider-id=S2A\\_tile\\_20190521\\_37SBB\\_1&slider-b=Red,Green,Blue&slider-anti&id=S2A\\_tile\\_20190322\\_37SBB\\_0&b=Red,Green,Blue&anti](https://eos.com/landviewer/?lat=48.69757&lng=21.39197&z=11&side=R&slider-id=S2A_tile_20190521_37SBB_1&slider-b=Red,Green,Blue&slider-anti&id=S2A_tile_20190322_37SBB_0&b=Red,Green,Blue&anti)

Application realm	Objective	Reference
Automated mapping and feature extraction	manual interpretation, semiautomatic object detection and interpretation	Notebaert et al. (2009)
	automated geomorphological mapping	Asselen and Seijmonsbergen (2006)
	extraction of 3-D breaklines	Mandlburger and Briese (2009)
	detection of water bodies	Brzank et al. (2008)
Tectonics	identification of tectonic structures	Cunningham et al. (2006), Székely et al. (2009)
Volcanology	mapping of volcanic deposits of eruptions	Csatho et al. (2008)
Landslides	identification and characterizing of landslides	McKean, J. and Roering, J. (2004), Ventura et al. (2011)
Glaciology	glacier landform mapping and monitoring	Smith et al. (2006)
	calculating glacier mass balances	Geist et al. (2005)
	estimating snow depth distribution	Hopkinson et al. (2004)
	glacier and periglacial surface interpretation	Hopkinson and Demuth (2006)
Karst morphology	identification of landforms for archaeological research	Weishampel et al. (2011), Bernardini et al. (2013)
Fluvial morphology	river valley mapping	Jones et al. (2007), Hohenthal et al. (2011)
	quantifying riverbank erosion	Thoma et al. (2005)
Coastal morphology	extraction of the tidal channel networks	Mason et al. (2006)
	morphodynamic changes of beaches	Sallenger et al. (2003), Starek et al. (2012)
	sand dunes pattern	Mitasova et al. (2009)
	storm surge effect, beach fill	Richter et al. (2013)
Seafloor morphology	bathymetric mapping	Finkl et al. (2005), Doneus et al. (2013)
Geochronology	dating of landforms	Glenn et al. (2006)
Process simulation	modelling floods	Cobby et al. (2003)
	modelling debris flows	Conway et al. (2010)
	rockfall modelling	Lan et al. (2010)
	avalanches modelling	McCollister and Comey (2009)
	modelling river hydraulics	French (2003), Straatsma and Baptist (2008)